



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA (MNPEF)

José Edson Reinert

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO
DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM
AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAIS**

Blumenau

2020

José Edson Reinert

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO
DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM
AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAS**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Ensino de Física.
Orientador: Prof. Daniel Almeida Fagundes, Dr.

Blumenau
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Reinert, José Edson

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O
ENSINO DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO : UMA
ABORDAGEM COM AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAIS / José Edson
Reinert ; orientador, Daniel Almeida Fagundes, 2020.

171 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós
Graduação em Ensino de Física, Blumenau, 2020.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Relatividade Especial. 3.
Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS). 4.
Recursos Digitais. 5. Aprendizagem Significativa. I.
Fagundes, Daniel Almeida. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física. III. Título.

José Edson Reinert

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO
DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM
AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Daniel Almeida Fagundes, Dr.(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Cristiano da Silva Teixeira, Dr.(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Claudio Michel Poffo, Dr.(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Prof.(a) Daniel Girardi, Dr.(a)
Coordenador(a) do Programa

Prof.(a) Daniel Almeida Fagundes, Dr.(a)
Orientador(a)

Blumenau, 2020.

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me deram apoio ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela generosidade e apoio recebido.

A meu marido, pela paciência, incentivo e encorajamento em dar continuidade aos estudos.

Ao meu orientador Prof^o.Dr. Daniel Almeida Fagundes, que incessantemente verificou cada detalhe desta dissertação para que ela estivesse à altura do nível de mestrado e exigiu de mim o máximo para que meu crescimento pessoal e profissional fosse exitoso.

Ao Colégio Visão – Unidade Celéstin Freinet e seus alunos que participaram e apoiaram toda pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Catarina por oportunizar a possibilidade de me aperfeiçoar através deste programa de mestrado.

À Sociedade Brasileira de Física por investir na educação e conseqüentemente proporcionar este mestrado como forma de capacitação profissional.

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

RESUMO

Esta dissertação apresenta um panorama geral sobre a necessidade de tornar a educação um processo significativo. Nesse âmbito, novos instrumentos e novas práticas educacionais fazem-se essenciais para o desenvolvimento de uma aprendizagem crítica e não mecânica. Tendo em vista esse ponto, neste documento propomos a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS), voltada ao ensino da Relatividade Especial no Ensino Médio. As UEPS possuem uma estrutura característica que é apresentada ao longo da dissertação e tem como objetivo se opor ao modo tradicional de ensino utilizando situações-problema que tornam o aluno parte integral do processo. Fazendo-se uso de ferramentas digitais e informativas, tais como, vídeos, animações, simulações, planilhas e reportagens, buscou-se apresentar a relação entre Relatividade Galileu e de Einstein, a Simultaneidade, a Dilatação Temporal, a Contração do Comprimento e a Energia Relativística, tópicos pertinentes ao tema central. A aplicação ocorreu em duas etapas distintas permitindo assim um processo de validação entre a versão inicial e o produto final apresentado neste documento. Os alunos apresentaram resultados positivos ao longo do processo, verificados pela evolução de argumentos e pelos dados colhidos ao longo das atividades. Essa perspectiva demonstra a importância de se trilhar novos caminhos na educação.

Palavras-Chave: Unidade de Ensino Potencialmente Significativo; Relatividade Especial; Ferramentas Digitais.

ABSTRACT

This dissertation provides an overview of the need to make education a meaningful process. In this context, new instruments and new educational practices are essential for the development of critical and non-mechanical learning. With this in mind, in this document we propose the development of a Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU), aimed at teaching Special Relativity in High School. The PMTU has a characteristic structure that is presented throughout the dissertation and aims to oppose the traditional way of teaching using problem situations that make the student an integral part of the process. Making use of digital and informative tools such as videos, animations, simulations, spreadsheets and news, we sought to present the relationship between Galileo and Einstein's Relativity, Simultaneity, Time Dilation, Length Contraction and Relativistic Energy, topics pertinent to the central theme. The application took place in two distinct stages thus allowing a validation process between the initial version and the final product presented in this document. The students presented positive results throughout the process, verified by the evolution of arguments and the data collected during the activities. This perspective demonstrates the importance of treading new paths in education.

Keywords: Potentially Meaningful Teaching Unit; Special Relativity; Digital Tools.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Relação Triádica de Gowin..... | 34 |
| Figura 2 - QR code - Arquivos da UEPS | 39 |
| Figura 3 - Translação (na direção +x) de um sistema inercial S' em relação a um sistema inercial em repouso, S. | 46 |
| Figura 4 - Movimento relativo e composição (adição) de velocidades em dois referenciais inerciais..... | 47 |
| Figura 5 - Representação da estrutura do espaço-tempo no espaço de Minkowski. | 49 |
| Figura 6 - Planos formados no espaço de Minkowski..... | 50 |
| Figura 7 - Análise do Espaço de Minkowski..... | 50 |
| Figura 8 - Análise da Simultaneidade | 54 |
| Figura 9 - Análise da Dilatação Temporal..... | 56 |
| Figura 10 - Análise da Contração do Comprimento..... | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Critérios de Avaliação da Aprendizagem..... | 43 |
| Tabela 2 - Transformações de Lorentz | 52 |
| Tabela 3 - Visualização de Objetos em Altas Velocidades | 62 |
| Tabela 4 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 1º Ano | 73 |
| Tabela 5 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 1º Ano..... | 74 |
| Tabela 6 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 2º Ano | 87 |
| Tabela 7 - Resultados da Atividade "Fissão Nuclear" – 2º Ano..... | 88 |
| Tabela 8 - Atividade “Fissão Nuclear” – Material Desenvolvido pelo Grupo – 2º Ano..... | 89 |
| Tabela 9 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 2º Ano..... | 90 |
| Tabela 10 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 3º Ano | 98 |
| Tabela 11 - Resultados da Atividade "Fissão Nuclear" – 3º Ano..... | 99 |
| Tabela 12 - Atividade “Fissão Nuclear” – Material Desenvolvido pelo Grupo – 3º Ano..... | 100 |
| Tabela 13 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 3º Ano..... | 101 |

SUMÁRIO

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PERCURSO METODOLÓGICO | 29 |
| 2.1 | TEORIAS DE APRENDIZAGEM | 31 |
| 2.1.1. | Aprendizagem Significativa – D. P. Ausubel | 31 |
| 2.1.2. | Perspectiva Humanística – J. D. Novak | 32 |
| 2.1.3. | Relação Triádica – D. B. Gowin..... | 33 |
| 2.1.4. | Modelos Mentais – P. Johnson-Laird | 34 |
| 2.1.5. | Campos Conceituais – G. Vergnaud..... | 35 |
| 2.1.6. | Aprendizagem Significativa Crítica – M. A. Moreira..... | 36 |
| 2.2 | UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA - UEPS | 37 |
| 2.3 | PERCURSO METODOLÓGICO | 39 |
| 3 | ASPECTOS FÍSICOS..... | 45 |
| 3.1 | RELATIVIDADE GALILEANA X RELATIVIDADE ESPECIAL | 45 |
| 3.2 | SIMULTANEIDADE | 52 |
| 3.3 | DILATAÇÃO DO TEMPO | 55 |
| 3.4 | CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO..... | 57 |
| 3.5 | ENERGIA RELATIVÍSTICA | 63 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 65 |
| 4.1 | REGISTRO DE AULA – 1º ETAPA..... | 66 |
| 4.1.1. | Perfil da Turma – 1º Ano..... | 66 |
| 4.1.2. | Aplicação | 66 |
| 4.1.2.1. | <i>1ª Aula</i> | <i>66</i> |
| 4.1.2.2. | <i>2ª Aula e 3ª Aula.....</i> | <i>69</i> |
| 4.1.2.3. | <i>4ª Aula e 5ª Aula.....</i> | <i>71</i> |
| 4.1.2.4. | <i>6ª Aula</i> | <i>72</i> |
| 4.1.2.5. | <i>7ª Aula</i> | <i>74</i> |
| 4.1.3. | Processo de Validação | 75 |
| 4.2 | REGISTRO DE AULA – 2ª ETAPA..... | 78 |
| 4.2.1. | Perfil da Turma – 2ª Ano..... | 78 |
| 4.2.2. | Aplicação | 79 |
| 4.2.2.1. | <i>1ª Aula</i> | <i>79</i> |
| 4.2.2.2. | <i>2ª Aula</i> | <i>83</i> |

| | | |
|---------------|--|------------|
| 4.2.2.3. | <i>3ª Aula e 4ª Aula</i> | 85 |
| 4.2.2.4. | <i>5ª Aula e 6ª Aula</i> | 86 |
| 4.2.2.5. | <i>7ª Aula e 8ª Aula</i> | 88 |
| 4.2.3. | Perfil da Turma – 3º Ano | 91 |
| 4.2.4. | Aplicação | 91 |
| 4.2.4.1. | <i>1ª Aula e 2ª Aula</i> | 91 |
| 4.2.4.2. | <i>3ª Aula e 4ª Aula</i> | 96 |
| 4.2.4.3. | <i>5ª Aula e 6ª Aula</i> | 97 |
| 4.2.4.4. | <i>7ª Aula e 8ª Aula</i> | 98 |
| 4.2.5. | Processo de Validação | 101 |
| 4.3 | DIAGNÓSTICO FINAL | 102 |
| 5 | CONCLUSÃO | 107 |
| | REFERÊNCIAS | 111 |
| | APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO | 115 |

1 INTRODUÇÃO

A busca por conhecimento é algo intrínseco dos seres humanos, estamos habituados a nos questionar o “Por quê?” das situações que ocorrem a nossa volta. O conhecimento vem de diversas fontes, sejam elas a família, a escola ou a sociedade como um todo. É essa busca que nos instiga ao novo e nos leva ao desenvolvimento. Ana Carla Abrão (2018) em uma entrevista para Lázaro Campos Júnior diz que a má qualidade da educação prejudica tanto a produtividade quanto os gastos com saúde e níveis de segurança, fatores que impactam diretamente no desenvolvimento econômico do país.

Considerando os aspectos apresentados é de extrema importância para o desenvolvimento de um país que se invista na educação. De acordo com a LDB Nº 9.394/96, no artigo 2 (BRASIL, 1996), a educação tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho, o que, de forma direta ou indireta, garante este desenvolvimento.

Porém é de conhecimento de muitos profissionais da educação que o modelo tradicional de aula já não se enquadra em nossa realidade tecnológica, e isso acaba impedindo que se alcancem os propósitos da educação. O paradigma educacional tradicional pode ter funcionado no passado, mas hoje não está adequado para o mundo em mudança (LA TORRE e PUJOL, 2013).

Nossos sistemas educacionais estão ultrapassados, tendo em vista que vários avanços estão sendo realizados nas áreas das ciências, na política, na economia e por fim, na sociedade como um todo. Considerando essas mudanças e os avanços na área de tecnologia temos que novas profissões vêm surgindo e demandam dos nossos estudantes mais aptidões intelectuais do que físicas. O mundo é globalizado e esta é a realidade que vivenciamos. Assim, a internet nos dias atuais é uma fonte de conhecimento que provém tanto quanto, ou até mesmo mais, que a sala de aula convencional (LA TORRE e PUJOL, 2013). Portanto a questão central é: nunca vivemos uma época onde o acesso à informação foi tão facilitado, porém o que fazer com tanta informação?

Independente do conteúdo a ser trabalhado na sala de aula, a maneira como isso acontece tem como objetivo construir uma prática disciplinar voltada para a fábrica ou empresa, que mais tarde poderá contratar seus graduados. Considerando que o modelo industrial está sendo gradativamente substituído pelo modelo de produção e de serviço baseado na economia do conhecimento, diversos órgãos como Unesco (UNESCO, 2010) e mesmo os PCN's

(BRASIL, 1998) têm proposto métodos de ensino alternativos, explorando a colaboração, a exploração, a investigação, o fazer, mais adequados para a idade pós-industrial.

Há a necessidade de se desenvolver a inteligência como uma capacidade adaptativa dos estudantes, permitindo assim a possibilidade de se estabelecer ligações entre informações e conhecimentos. Esta ligação “constitui modo privilegiado de construção e criação de conhecimento, de saberes necessários à construção de novos saberes” (PIERUCCINI, 2008, p. 51).

Tendo em vista a necessidade de se desenvolver a inteligência, iniciou-se um movimento com o objetivo de tornar o aluno protagonista do seu próprio processo de aprendizagem. O aluno deve ser capaz de, acima de tudo, conseguir identificar e buscar os conhecimentos que são essenciais à criação de ligações que possam atuar, seja em processos de compreensão ou de reinvenção dos eventos (PIERUCCINI, 2008).

A evolução da aprendizagem implica na mobilização de conhecimentos e outros elementos de ordem cognitiva como “atitudes e posturas mentais, curiosidade, paixão, busca de significado, desejo de tecer laços, relação com o tempo, maneira de unir intuição e razão, cautela e audácia, que nascem tanto da formação como da experiência” (PERRENOUD, 1999, p. 9).

Uma forma de tornar o aluno parte do processo de ensino e aprendizagem é pela inserção de tecnologia. Vivemos em um mundo digital, sendo assim partimos “para o desenvolvimento de novas estratégias de ensino, trazendo para o aluno um conjunto de ferramentas que lhe permitem construir a própria aprendizagem, de forma a contribuir para seu desenvolvimento integral” (MUNHOZ, 2019, p. 224).

O Ensino de Física nas escolas de educação básica sofre com a falta do uso de tecnologias, assim como, com a falta de atualização no currículo, principalmente no que se refere aos conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea.

As mudanças propostas para a educação não ocorrem somente na forma de ensinar, mas também no currículo das disciplinas abordadas nas escolas, principalmente pelo fato de que existem atualizações em conteúdos que devem ser feitas. Cabe enfatizar que a área das Ciências Naturais é a que mais sofre com essa defasagem em virtude das constantes pesquisas que vêm sendo realizadas.

Segundo Machado e Nardi (2006), as informações científicas estão em constante modificação no decorrer do tempo e as mesmas se ligam a outras áreas do conhecimento, porém essas pontes pouco têm sido destacadas no ensino de Ciências, principalmente de Física, dentro das escolas de nível médio.

Ainda é interessante ressaltar que, no Ensino de Física, o conjunto de ideias que estão diretamente relacionadas com o termo Física Moderna, como a Relatividade Especial, a Mecânica Quântica, a Física Nuclear, a Física de Partículas Elementares, a Física da Matéria Condensada e a Cosmologia, todas desenvolvidas a partir do final do século XIX, são quase inexistentes no currículo no ensino médio (MACHADO e NARDI, 2006).

Para Terrazzan (1992), continuamos a seguir os conteúdos didáticos que são ditados pelos manuais de Ensino de Física do século passado.

Os currículos para o Ensino de Física no ensino médio são pobres e se assemelham muito uns aos outros. Normalmente os conteúdos abordados ficam divididos por temas gerais como Mecânica, Termodinâmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo. Esta mesma sequência é a abordada nos livros didáticos (TERRAZZAN, 1992).

Jesus e Jardim (2017) discorrem sobre o quão interessante e importante é a abordagem de conteúdos como a origem do universo, a relatividade, semicondutores e supercondutores, o átomo, radioatividade, efeito fotoelétrico, raios-X, estrutura molecular, partículas elementares, entre outros, não somente na graduação e na pós-graduação, mas também no ensino médio.

Neste sentido, é de extrema relevância que além da Física Newtoniana, que engloba grande parte dos currículos atualmente, sejam trazidos para sala de aula conceitos modernos que estejam ligados de forma mais intrínseca ao cotidiano dos estudantes.

Não obstante, é importante que os alunos tenham conhecimento e contato com as pesquisas atuais relacionadas ao campo da Física. Neste sentido, os PCN's para o ensino médio direcionam para um caminho de reformulação do currículo, visto que se visa a inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) com o objetivo de atrair mais estudantes para as áreas científicas. Neste contexto, Ostermann e Moreira (2000, p. 25) consideram que é

[...] pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. [...] a introdução da FMC no currículo das escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. [...], o entendimento de FMC fará o indivíduo ter uma capacidade cognitiva maior.

Moreira (2017a) em uma análise sobre os grandes desafios para o Ensino de Física na Educação Contemporânea resume que ele é desatualizado em termos de conteúdos e tecnologias. O ensino é centrado no docente, ao invés de centrado no estudante, ele também é comportamentalista, focado no treinamento para as provas e aborda a Física como uma ciência

acabada, tal como apresentada em um livro de texto, sendo que a Física enquanto uma ciência está em constante desenvolvimento.

Diante dessa situação, que envolve uma ciência tão presente e ao mesmo tempo tão desconhecida por parte dos alunos do ensino médio, é necessário que eles tenham a condição de entender e se envolver com o desenvolvimento tecnológico presentes no cotidiano, seja para avaliar os impactos das novas tecnologias ou simplesmente para conhecê-las criticamente, podendo assim problematizar seu uso e aplicação. Esta aproximação faz com que o aprendizado seja rico e acabe por proporcionar uma contextualização significativa ao mesmo tempo em que se aprende (TIRONI, SCHMIT, *et al.*, 2013).

Levando em conta esta necessidade de se estimular a criticidade dos alunos nos deparamos com a seguinte situação, nos dias atuais observa-se que eles não mudaram apenas em termos de avanço tecnológico em relação aos do passado, nem simplesmente mudaram suas gírias, roupas, enfeites corporais, ou estilos, como aconteceu entre as gerações anteriores. Algo maior foi modificado. Essa mudança pode até mesmo ser chamada de singularidade, uma situação em que as mudanças são tão grandes a ponto de serem irreversíveis. Esta singularidade foi a chegada e a rápida propagação das tecnologias digitais nas últimas décadas. É possível perceber esta situação em uma simples caminhada pela rua, onde é possível ver todos conectados com seus *smartphones* (PRENSKY, 2001).

Sendo assim, a inserção de recursos tecnológicos é algo que deveria acontecer naturalmente no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que eles já fazem parte do cotidiano dos estudantes. Assim, num cenário de democratização do acesso a ferramentas tecnológicas como os smartphones, computadores, notebooks e tablets, o uso de recursos digitais como vídeos, animações, simulações entre outros, pode favorecer a assimilação de conhecimento e o interesse dos alunos pelos assuntos abordados, bem como pode exemplificar de forma mais clara conceitos muitas vezes considerados abstratos.

Porém, há uma necessidade de adaptação e capacitação tanto do professor quanto da instituição de ensino para essa nova era. Em relação ao professor, existe o problema de que, na sua grande maioria, são imigrantes digitais e assim, como qualquer imigrante que esteja aprendendo uma linguagem nova, apresentam “sotaque”. Conforme Prensky (2001, p. 2) “o ‘sotaque do imigrante digital’ pode ser percebido de diversos modos, como o acesso à internet para a obtenção de informações, ou a leitura de um manual para um programa ao invés de assumir que o programa nos ensinará como utilizá-lo.”

Oliveira (2017) também relata sobre a inércia dos professores para a adaptação ao uso de tecnologias, indicando que além deste há outro empecilho, que está na falta de espaço

institucional para inovar. Atualmente é de comum acordo que as tecnologias presentes no nosso dia a dia são responsáveis por realizar grande parte dos desafios e tarefas principalmente no que diz respeito a atividades desempenhadas por professores e escolas, e, em alguns casos, podem fazer muito melhor e de maneira mais eficiente. Porém a realidade que cerca a educação é o de escolas que não tem espaço para essas tecnologias e principalmente para novos arranjos institucionais acarretados por essas tecnologias; o que se tem é o uso de tecnologia submetida aos critérios e regras da escola formal. Isso reduz o seu impacto e a possibilidade de testar os seus limites (OLIVEIRA, 2017).

O uso de recursos digitais, como ferramenta potencializadora do ensino, deve ser acompanhado de uma teoria pedagógica que permita ao aluno explorar suas habilidades e que possa valorizar seus conhecimentos prévios. Por isso, utilizou-se nesse trabalho como referencial teórico de ensino e aprendizagem a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel além de outras propostas teóricas correlatas, tais com a aprendizagem significativa crítica de Moreira (MOREIRA, 2000).

Sabendo da importância do ensino atualizado de Física e da abordagem de novas teorias, Moreira (1979), fazendo uso de teoria ausubeliana, conclui que ela facilita a aprendizagem de conceitos físicos. Moreira (1979, p. 291) ainda observa que:

Talvez, muitas das dificuldades encontradas no ensino da Física estejam relacionadas com a falta de ênfase na diferenciação progressiva, na reconciliação integrativa, no relacionamento com a estrutura cognitiva existente e assim por diante. Talvez, ao invés de se procurar métodos, de se tentar tornar a Física atraente ou simples, se deva em primeiro lugar torná-la potencialmente significativa para os estudantes no sentido Ausubeliano.

Visando a elaboração de uma proposta de aplicação do tema que permite a aplicação nas três séries do Ensino Médio, utilizou-se o conceito de sequência das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) proposto por Moreira (2012) e que é discutido posteriormente no Capítulo 2.

Considerando as fragilidades apresentadas, neste trabalho buscamos discutir uma aplicação de tópicos da Física Moderna e Contemporânea, de modo específico a Relatividade Especial (ou Restrita). Este tema, vinculado ao uso de recursos digitais e apresentado na forma de uma UEPS alinhada com outras propostas correlatas, como por exemplo, o trabalho desenvolvido por Riboldi (2016) “A construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensinar relatividade no ensino médio utilizando animações e o game

‘*A Slower Speed of Light*’”, representou um caminho repleto de possibilidades para tornar os alunos atores ativos nos seus próprios processos de aprendizagem.

Tendo em vista o exposto até aqui, é necessário fazer uma reflexão sobre pontos que devem ser levados em consideração para elaboração deste trabalho. Sendo assim o Capítulo 2 busca apresentar os elementos-chave para um processo de ensino-aprendizagem significativo, assim como o Capítulo 3 trará um aprofundamento do tema a ser desenvolvido ao longo da UEPS.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PERCURSO METODOLÓGICO

A educação brasileira sofre com a falta de atualização e, no cenário atual, tem-se a visão de que a escola é uma instituição formada pela sobreposição de camadas ao longo de vários anos. O ensino aplicado em forma de sistema já data de pelo menos 30 séculos, pouco depois da invenção do alfabeto, ou seja, vivemos a educação nessa forma sistemática ainda como se nada houvesse mudado com o passar dos anos (OLIVEIRA, 2017).

Mesmo a educação tradicional tendo iniciado um processo de declínio durante o movimento renascentista, ela perdura até os dias atuais. O ensino tradicional é arcaico, reprimido e ao mesmo tempo um limitador do processo de desenvolvimento da criticidade dos alunos. Em oposição a essa educação tradicionalista surgiram, nos últimos dois séculos novas propostas educacionais e com elas o desenvolvimento das metodologias de ensino (GADOTTI, 2000). Segundo Gadotti (2000, p. 4), o “conceito de ‘aprender fazendo’ de John Dewey e as técnicas Freinet, por exemplo, são aquisições definitivas na história da pedagogia.”

Gadotti (2000, p. 4) ainda ressalta que, “a educação tradicional e a nova têm em comum a concepção da educação como processo de desenvolvimento individual”, porém deve-se ressaltar que se diferem na forma como se atinge esse desenvolvimento individual. A educação tradicional tem o professor como detentor de todo conhecimento e o aluno um mero receptáculo destinado a absorver tudo que lhe é apresentado. De acordo com Moreira (2011a) os professores que se beneficiam da educação tradicionalista são narradores, narrando o conhecimento para os alunos afim de que estes possam replicar esse conhecimento em testes posteriores, sejam nas escolas ou na busca por um lugar nas universidades, sendo assim estas instituições acabam apenas treinando os alunos ao invés de educá-los. Já em propostas educacionais baseadas no ensino ativo busca-se fazer do aluno parte integral do processo, o professor torna-se um elo, um mediador, entre o conhecimento e os alunos, ajudando na significação desse conhecimento.

Portanto, há uma necessidade de mudança, uma necessidade de tornar a educação mais relevante, de incluir o aluno em todo o processo. Sendo assim mudar a escola envolve modificar diretrizes, como o que se deve aprender, como organizar os alunos, como ensinar e de que forma avaliar. Tudo isso pode parecer natural já que mudar é preciso, porém isso envolve uma grande ruptura na estrutura que, como já foi dito, é a mesma há anos.

Apesar de tantos obstáculos que se interpõem entre o sistema educacional tradicional e sua atualização ao longo dos anos, a educação tem tentado se remodelar e se reformular de várias formas. Neste sentido, tem-se visto que há uma tendência global de sucesso em países

que, por exemplo lideram indicadores como o PISA (Programme for International Student Assessment), à educação voltada para a aprendizagem ativa (CORRADINI, 2012).

Na tentativa de tornar o processo de ensino e aprendizagem atraente e eficaz observa-se que a grande variedade de recursos tecnológicos e de comunicação acarreta uma série de obstáculos para o desempenho da função tradicional de professor. Esses constituem desafios que instigam os professores a optarem por novos caminhos. Assim sendo, os professores optam pelo uso de novas metodologias buscando a participação ativa dos alunos, tanto dentro quanto fora de sala. Nos novos caminhos trilhados pelos professores, eles fazem uso, por exemplo, de ensino baseado em desafios e na resolução de problemas, tendo em vista as transformações da sociedade que exigem do estudante respostas rápidas e eficazes (BOROCHOVICIUS e BARBOZA TORTELLA, 2014), bem como, estimulam o desenvolvimento da criticidade, já que o conhecimento deve ser construído que seja com questionamento e criticidade pelos alunos antes de ser internalizado (MOREIRA, 2011a). Em suma, é necessário que, através da revisão do papel da atividade docente, nossos alunos estejam aptos a pensar e possam assumir papel ativo no seu processo de aprendizagem.

Nos últimos anos tem se intensificado o movimento na busca de forma ativas de ensino e em meio a essa tendência global, o pensamento crítico surge como um instrumento essencial à análise dos questionamentos. O pensamento crítico, desenvolvido como habilidade, é um instrumento que relaciona critérios intelectuais tanto de reflexão quanto de ação. Esta habilidade tem um papel importante em diversas vertentes, como em decisões econômicas, sociais e educacionais, e isso acarreta a construção de uma sociedade igualitária (CARBOGIM, OLIVEIRA, *et al.*, 2019).

Carbogim et al. (2019, p. 306) ainda afirma que o pensamento crítico é “[...] um conceito que reflete ações intelectuais alusivas a um esforço organizado, ativo e intencionado com vistas a compreender uma situação ou problema, abarcando a avaliação cuidadosa do próprio pensamento e de outras pessoas”.

Portanto, na busca por um ensino que envolva os alunos de forma ativa, devemos nos preocupar com a metodologia na qual podemos nos apoiar. Sendo assim, é necessário que os alunos criem ponte sólidas com o conhecimento e que possam relacionar de forma construtiva os conhecimentos adquiridos com seus cotidianos. Pensando nesta necessidade, este trabalho se apoia na teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel levando em conta contribuições fundamentais de outros teóricos, como, por exemplo, a aprendizagem significativa crítica de Moreira, a perspectiva humanista de Novak e a teoria de campos conceituais de Vergnaud. Tendo em vista esse aspecto, apresentamos a seguir um breve

panorama acerca das principais teorias de aprendizagem que fundamentam a exploração da UEPS proposta no produto educacional (APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO).

2.1 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

2.1.1 Aprendizagem Significativa – D. P. Ausubel

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo estadunidense, especialista em psicologia educacional, que criou uma teoria de aprendizagem chamada de Aprendizagem Significativa. Do ponto de vista histórico, o desenvolvimento desta teoria emergiu em contrapartida ao behaviorismo, corrente de ensino focada no reforço, que era predominante na década de 80 (FERNANDES, 2011).

A aprendizagem significativa busca alterar a forma como entendemos o conhecimento, para isso é necessário que se tenha uma visão interna dos processos, ou seja, que se verifique qual a importância que os processos mentais têm ao longo do caminho de aprendizagem. A análise externa de comportamento não é a ênfase desta teoria (PELIZZARI, KRIEGL, *et al.*, 2002). Para Pelizzari et al. (2002, p. 38),

As idéias de Ausubel também se caracterizam por basearem-se em uma reflexão específica sobre a aprendizagem escolar e o ensino, em vez de tentar somente generalizar e transferir à aprendizagem escolar conceitos ou princípios explicativos extraídos de outras situações ou contextos de aprendizagem.

Para Ausubel, “[...] aprender significativamente é ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e com isso ser capaz de relacionar e acessar novos conteúdos” (FERNANDES, 2011, n.p.). Ademais, a aprendizagem significativa de Ausubel leva em conta o histórico dos alunos e enfatiza a atuação do professor na sugestão de situações que possam alavancar o processo de aprendizagem. Para ele, este tipo de aprendizagem ocorre em duas situações distintas, a primeira é quando o conteúdo a ser ministrado é instigante e revelador para o estudante e a segunda é quando o aluno está disposto a correlacionar tudo que é ensinado de forma consistente com seu conhecimento prévio (FERNANDES, 2011).

O que Fernandes (2011) apresenta vai ao encontro do que é descrito por Pelizzari et al. (2002), sendo que Pelizzari ainda acrescenta que, em relação a disposição do aluno para aprender, se ele apenas estiver disposto à memorização do conteúdo de forma arbitrária e literal então esse processo será mecanizado e a aprendizagem significativa não terá resultados. Quanto

ao conteúdo instigante e revelador, ele tem que “[...] ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem” (PELIZZARI, KRIEGL, *et al.*, 2002, p. 38).

Tendo como premissa o fato de que o cérebro humano é uma ferramenta muito complexa e organizada, Ausubel sugere que na aprendizagem significativa o cérebro forma uma rede de conhecimento de forma hierárquica na qual, conceitos mais gerais servem de base para a ligação com conceitos mais específicos levando a uma assimilação mais efetiva. Dessa forma o acesso a conhecimentos específicos se torna mais fácil, pois estes são trazidos à tona pelos conhecimentos gerais (MOREIRA, 1979). Tais conceitos estruturantes que servem de base para a construção do conhecimento “Ausubel atribuiu o termo ‘subsunção’, palavra que talvez tenha ido buscar à filosofia de Kant, onde o verbo subsumir significa a incorporação de um indivíduo numa espécie, a inferência de uma ideia a partir de uma lei, etc” (VALADARES, 2011, p. 37).

2.1.2 Perspectiva Humanística – J. D. Novak

A adição de elementos humanísticos à teoria de aprendizagem significativa, no entanto, ganhou grande repercussão a partir das contribuições de Joseph Donald Novak. Suas ideias, que ampliam a proposta de Ausubel, tem por base o fato que para a aprendizagem tornar-se de fato significativa deve haver uma integração de pensamentos, sentimentos e ações. Para Novak são pensamentos, sentimentos e ações que conduzem o homem a engrandecimentos, e conseqüentemente ao aprendizado significativo.

A perspectiva de Novak é que quando a aprendizagem é significativa o aprendiz cresce, tem uma sensação boa e se predispõe a novas aprendizagens na área, mas o contrário disso, é que quando a aprendizagem é sempre mecânica o sujeito acaba por desenvolver uma atitude de recusa à matéria de ensino e não se predispõe à aprendizagem significativa (MOREIRA, 2007, p. 4).

Novak crê que existem cinco elementos que constituem um evento educativo, sendo eles: *aprendiz*, *professor*, *conhecimento*, *contexto* e *avaliação*. Sendo que eventos educativos são situações onde um *aprendiz* adquire *conhecimento* dentro de um certo *contexto* interagindo com um *professor*. Para Novak a *avaliação* deve fazer parte desse processo visto que muito desse processo depende dela, assim como no nosso dia a dia muito do que acontece depende de uma avaliação (MOREIRA, 2017b).

De acordo com Moreira (2017b, p. 177), “é levando em conta estes elementos que Novak propõe, como fundamental em sua teoria, a ideia de qualquer evento educativo implica uma *ação para trocar significados e sentimentos* entre professor e aluno.” Essas trocas têm como alvo a aprendizagem significativa. É importante que se dê significados aos novos conhecimentos e para isso pode-se realizar interações com subsunções, sendo que estes já devem estar bem estabelecidos na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2017b).

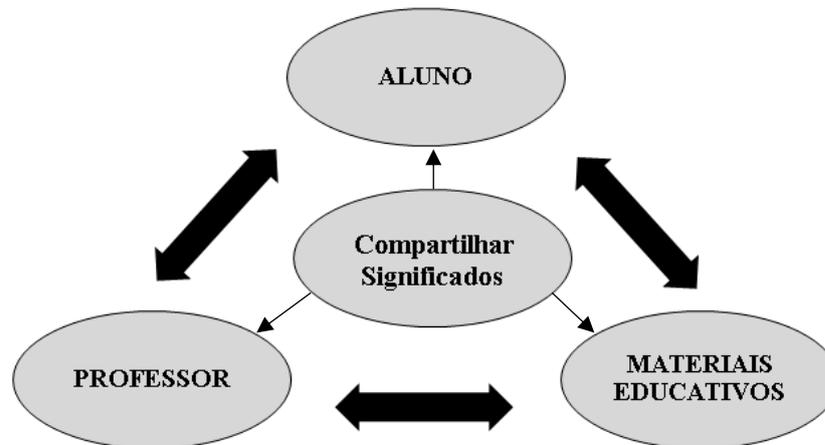
Uma estratégia facilitadora do processo de ensino sugerida por Novak na década de 80 foi o mapa conceitual, uma representação em forma de rede de ideias e conceitos que são dispostos de forma hierarquizadas em um organograma. O mapa conceitual cria relações desde termos mais abrangentes até os menos inclusivos, sendo uma forma de sistematizar e visualizar o conhecimento que é adquirido (KANSO, 2015). Ele possui a característica de unir elementos de forma hierarquizada através de uma diferenciação progressiva ou ainda de uma reconciliação integrativa, ou seja, através dos mapas conceituais é possível criar ligações entre conceitos que talvez não sejam tão evidentes (TAVARES, 2007). Os mapas conceituais são ferramentas importantes, sendo possível utilizá-los ao longo do evento educativo ou como avaliação do processo.

2.1.3 Relação Triádica – D. B. Gowin

As ideias de Ausubel e Novak vão ao encontro das ideias de D.B. Gowin, que tem uma visão Vygotskyana¹ e acredita que o processo de ensino-aprendizagem é fruto do compartilhamento de significados em uma relação triádica entre professor, aprendiz e materiais educativos (Figura 1) . Nesta relação o professor é quem já domina os significados a respeito dos materiais educativos e o aprendiz é quem busca captar tais significados, porém é de suma importância enfatizar que o domínio dos conteúdos não faz do professor a peça principal dessa relação triádica; o aluno tem muito a contribuir sendo que em certos conteúdos ele mesmo pode ser o dominante do conteúdo (MOREIRA, 2007).

¹ Vygotsky acreditava que processos mentais estão diretamente ligados aos processos sociais, sendo assim o desenvolvimento da estrutura cognitiva de um indivíduo só pode ser entendido utilizando seu meio social como referência, talvez mais do que isso, o desenvolvimento cognitivo se dá pela “conversão de relações sociais em funções mentais” (MOREIRA, 2017b, p. 108).

Figura 1- Relação Triádica de Gowin



Fonte: Elaborado pelo autor (2019) baseado em Moreira (2017b).

Neste contexto, o processo de assimilação do significado vem antes da própria aprendizagem significativa, pois é necessário ter domínio deles para que possam servir de subsunçores.

A relação triádica de Gowin, portanto, visa o compartilhar de significados, sejam nas relações professor-aluno, aluno-aluno, aluno-materiais ou professor-materiais. Gowin (MOREIRA, 2017b, p. 186) diz que, “o ensino se consoma quando o significado do material que o aluno capta é o significado que o professor pretende que esse material tenha para o aluno”, ou seja, usando os materiais educativos se busca uma convergência dos significados do aluno com os do professor.

Na relação triádica observa-se que quando o próprio aluno demonstra uma pré-disposição à aprendizagem significativa, sua busca por significados tanto na sua relação com materiais educativos quanto na relação com o professor, se torna intencional (MOREIRA, 2017b).

O professor apresenta um papel extremamente importante nessa relação pois ele, como membro dessa tríade deve ser capaz de apresentar caminhos alternativos aos alunos quando estes demostram que o compartilhamento de significados não foi significativo. A verificação do processo de aquisição dos significados deve acontecer com os alunos conseguindo externalizar o que foi internalizado.

2.1.4 Modelos Mentais – P. Johnson-Laird

Talvez se possa dizer que a aprendizagem é significativa quando o sujeito constrói um modelo mental de uma nova informação, seja ela um conceito, proposição, ideia, evento ou

objeto. De fato, essa é a ideia de Johnson-Laird, que sugere que as pessoas raciocinam com modelos mentais; os quais são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados conforme necessário. Como quaisquer outros modelos, eles representam o objeto ou situação em si, sendo uma de suas características mais importantes o fato de sua estrutura captar a essência dessa situação ou objeto (MOREIRA, 1996).

Concomitantemente a essa construção de modelos mentais através de blocos, proposta por Johnson-Laird, segue-se a discussão de como um aluno consegue explicar um fenômeno físico e até mesmo como consegue prever certas possibilidades deste fenômeno. Ao que indica Johnson-Laird, o aluno já possui um modelo mental estruturado no qual o conhecimento sobre o fenômeno pode se apoiar e, se ele consegue explicar e prever tais fenômenos, temos portanto a evidência de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011b).

Os modelos mentais geralmente são modelos de trabalho, i.e., são construídos na hora para representar determinada proposição, conceito, objeto ou evento e são instáveis, funcionam naquela situação e são descartados. Mas se pode também falar em modelos mentais estáveis, modelos que por sua funcionalidade em muitas situações adquirem uma certa estabilidade, no sentido de que ficariam armazenados na memória de longo prazo. Por outro lado, os modelos de trabalho não são construídos a partir do zero. Ao contrário, eles são construídos a partir de entidades mentais já existentes, as quais, a rigor seriam também modelos mentais (quer dizer, há modelos mentais dentro de modelos mentais) (MOREIRA, 2011b, p. 11).

Tendo em vista as características de um modelo mental, pode-se imaginar que para um aprendiz criar seus próprios modelos ele tem que ter o que Ausubel nomeou como subsunçores; o que segundo Johnson-Laird já seriam modelos mentais, porém mais estáveis. “Em frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir [...] um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação” (MOREIRA, 2012, p. 46).

2.1.5 Campos Conceituais – G. Vergnaud

Por fim cabe mencionar que a teoria da Aprendizagem Significativa se correlaciona com a teoria de Gérard Vergnaud sobre Campos Conceituais. Vergnaud assume que todo conhecimento se organiza em campos conceituais, e o domínio sobre este campo conceitual se dá através de um longo tempo. Campo conceitual é para Vergnaud, “um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição” (MOREIRA, 2017b, p. 206) , ou seja, para Vergnaud, todo o desenvolvimento cognitivo é fruto de um processo de contextualização do que é real (MOREIRA, 2017b)

Sendo a conceitualização a pedra fundamental para o domínio do conhecimento deve-se dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações para as quais os estudantes desenvolvem seus esquemas. Em resumo, são as situações-problema que dão sentido aos conhecimentos que são adquiridos. Nesse âmbito, cabe ao professor, seguindo a relação triádica de Gowin, como dominante dos significados, propor situações-problema que possam auxiliar os aprendizes. Vale ressaltar que o nível de dificuldade deve sempre ser elevado a cada etapa a fim de que os modelos mentais já estabelecidos possam servir de subsunçores para novas situações.

A importância das situações-problema na construção de modelos mentais estáveis é verificada no percurso metodológico desenvolvido neste trabalho que é apresentado no subcapítulo 2.3.

2.1.6 Aprendizagem Significativa Crítica – M. A. Moreira

Segundo Moreira (MOREIRA, 2012), dentro de uma ótica contemporânea, a aprendizagem além de significativa deve ser também crítica.

É importante que a aprendizagem significativa seja crítica, subversiva, antropológica. Quer dizer, na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente. Ao mesmo tempo que é preciso viver nessa sociedade, integrar-se a ela, é necessário também ser crítico dela, distanciar-se dela e de seus conhecimentos quando ela está perdendo rumo (MOREIRA, 2007, p. 11).

A criticidade, ou pensamento crítico como citado anteriormente, adicionada à aprendizagem significativa, instiga a busca por respostas de forma não mecanizada. Sendo assim, devemos nos apropriar dos diversos recursos e estratégias disponíveis para criar um ensino que tenha como foco o aluno crítico de seu próprio meio. Por consequência, a simples memorização de respostas se opõe a essa metodologia (MOREIRA, 2012).

É através da aprendizagem significativa crítica que o indivíduo poderá pertencer a sua cultura, sem que seja subjugado e ao mesmo tempo será capaz de acompanhar as mudanças que ocorrem a sua volta sem ser dominado por elas (MOREIRA, 2017b). Agir criticamente é essencial para a vida em sociedade e o desenvolvimento dessa criticidade pode ser realizada dentro da sala de aula através da relação triádica professor-aluno-materiais educativos.

Nesse contexto, Moreira (2017b) propõe 9 princípios que são facilitadores da aprendizagem significativa crítica, sendo eles:

1º) Princípio da Interação Social e do Questionamento, ensinar é um processo que deve ocorrer através de questionamentos e não de respostas;

2º) Princípio da não Centralidade do Livro de Texto, a riqueza de materiais educativos não deve ser suprimida pelo uso exclusivo do livro texto;

3º) Princípio do Aprendiz como Perceptor/Representador, os indivíduos percebem o mundo a sua volta e ao mesmo tempo são representações dele;

4º) Princípio do Conhecimento como Linguagem, o uso da linguagem é parte integrante da tentativa dos indivíduos de compreender a realidade que os cerca;

5º) Princípio da Consciência Semântica, os significados são encontrados nas pessoas e não nas palavras;

6º) Princípio da Aprendizagem pelo Erro, aprende-se muito mais com os erros do que com os acertos;

7º) Princípio da Desaprendizagem, muitas vezes aprender significa desaprender, ou seja, deixar de lado o que é irrelevante para abrir espaço a novos conhecimentos;

8º) Princípio da Incerteza do Conhecimento, questionamentos podem ser utilizados na percepção e definição, e que metáforas são instrumentos que nos estimulam a pensar;

9º) Princípio da não Utilização do Quadro de Giz, o método tradicional não é mais a única ferramenta de ensino, deve-se fazer uso das mais variadas estratégias de ensino.

Finalmente, valendo-se de todos os princípios que norteiam a aprendizagem significativa os conteúdos a serem discutidos foram estruturados na forma de uma UEPS, como será abordado no item a seguir. Nesse quesito, vale reforçar que além da combinação de metodologias, explorando o pluralismo metodológico, para ensinar de forma significativa, devemos nos ater aos conteúdos que irão ser abordados. Tendo como base essa premissa, portanto, é apresentado no item Aspectos Físicos os tópicos que são alvos deste trabalho.

2.2 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA - UEPS

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) se baseiam nos referenciais teóricos de aprendizagem significativa discutidos anteriormente. Elas são sequências de ensino que tem a potencialidade de ser significativas e relevantes para o aluno, as quais podem levar à absorção de conceitos ou tópicos específicos de um ou mais conteúdos escolares.

Nas palavras de Moreira (2012, p. 45), desenvolvedor das UEPS, elas “são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não

mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.”

As UEPS possuem como objetivo facilitar o processo de aprendizagem significativa e sua filosofia está baseada na ideia de que o ensino só irá ocorrer quando houver aprendizagem significativa. Para que ocorra essa aprendizagem, deve-se se fazer uso de materiais educativos que tenham a potencialidade de serem significativos ao longo do processo (MOREIRA, 2012).

É importante ressaltar que uma UEPS se difere de uma sequência de ensino tradicional pelo fato de que ela não é baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica dos alunos. A UEPS busca se apoiar nas teorias apresentadas anteriormente, que dificilmente tem espaço dentro das escolas, visto que o método tradicional ainda tem grande influência na didática dos professores e na forma como os alunos estão habituados a “aprender”. Agir de forma ativa tanto para professores quanto para alunos ainda é um tabu pois exige mais, tanto de um quanto do outro, mas essa ideia precisa ser desconstruída.

As UEPS devem ser elaboradas a partir de um tema e da escolha de recursos e conteúdos e devem ser guiadas por situações-problema que levem o aprendiz a realizar conexões com conceitos pré-existentes. Com o andar da aplicação novas situações-problema devem surgir, sempre apresentando um nível mais elevado.

Sendo assim, a aplicação do conteúdo foi realizada fazendo uso de uma UEPS, sendo que a sequência seguiu a estrutura apresentada abaixo, baseado na proposta de Moreira (2012):

- (1) Seleção dos tópicos a serem abordados.**
- (2) Situações iniciais:** Propor e/ou criar discussões, mapas mentais, mapas conceituais, questionários, tempestades cerebrais, situações-problema para que os alunos envolvidos possam externalizar seus conhecimentos prévios.
- (3) Situações-problema:** Considerando os conhecimentos prévios dos alunos, abordar situações cotidianas que tenham relação com os conceitos trabalhados. Serão situações introdutórias que poderão servir de subsunçores para os novos conhecimentos que serão apresentados. Faz-se uso neste tópico de vídeos, simulações, notícias da mídia entre outros.
- (4) Apresentação dos conteúdos:** Levando em conta os tópicos anteriores, nesta etapa será feito a apresentação oral dos conteúdos a serem trabalhados. Para estimular a troca de ideias e a criticidade, após a apresentação oral, os alunos, em grupos, irão debater sobre os assuntos para posteriormente compartilhar com os demais.
- (5) Novas situações-problema:** Agora, com a apresentação oral e as devidas explicações feitas, pode-se propor novas situações-problema de forma mais aprofundada, fazendo

uso de aspectos gerais e estruturantes. As novas situações podem, também, ser simulações, vídeos, notícias veiculadas pela mídia, problemas do cotidiano, estudos de caso entre outros. Pode-se fazer uso de textos e relações comparativas com as primeiras situações desde que haja um nível de complexidade maior.

- (6) **Avaliação somativa individual:** Será avaliada a aquisição de conhecimento do aluno através de questões abertas envolvendo o conteúdo abordado, não focando em questões do tipo “certo ou errado”. É necessário que os alunos tenham internalizado os conceitos-chave da UEPS para que a construção do conhecimento seja significativa.
- (7) **Avaliação da aprendizagem:** Será realizada durante a aplicação da UEPS, registrando tudo que possa servir de evidência para uma aprendizagem significativa como avaliação formativa. A avaliação da aprendizagem se dará através da avaliação formativa (registros) e da avaliação somativa individual.
- (8) **Avaliação da UEPS:** A avaliação da UEPS é realizada pelo professor e pelos alunos com o intuito de verificar se ela foi eficiente no seu papel de desenvolver uma aprendizagem significativa e crítica. A partir desta avaliação alterações podem ser realizadas para aplicações futuras. A avaliação da UEPS irá ocorrer sempre na última aula da sequência.

2.3 PERCURSO METODOLÓGICO

Ao considerar cada um dos tópicos essenciais na estrutura de uma UEPS, foi possível chegar ao resultado apresentado abaixo. É importante considerar também que através da análise dos resultados foi possível a realização de modificações com o intuito de torná-la uma sequência mais significativa e instigante aos alunos.

A UEPS aqui proposta constitui o Produto Educacional acoplado a essa Dissertação, o qual encontra-se disponível na íntegra no Apêndice A.

Todo conteúdo estrutural da UEPS aqui proposta (slides e materiais) encontra-se disponível no link [https://is.gd/Relatividade Especial](https://is.gd/Relatividade_Especial), ou através do seguinte QR code:

Figura 2 - QR code - Arquivos da UEPS



A seguir, apresentamos de forma resumida os tópicos que compõe o percurso metodológico de aplicação da UEPS formulada no Produto Educacional. Essa abordagem serve, não somente de introdução à abordagem utilizada, mas como guia para análise de resultados, que apresentamos no Capítulo 4.

(1) Tópicos a serem abordados

Para iniciar a aula serão apresentados os tópicos:

- Relatividade Especial (em contrapartida à Relatividade Galileana)
- Relatividade nos Intervalos de Tempo
- Relatividade do Comprimento
- Energia Relativística

Ao apresentar os tópicos a serem abordados deve-se também apresentar objetivos desta UEPS.

Este item faz parte da **1ª aula** da UEPS e o tempo destinado para ele é de **5 minutos**.

(2) Situação Inicial

Deve-se propor aos alunos, que de forma individual, realizem a atividade de sondagem de subsunçores a fim de verificar se existe algum conhecimento que eles associam à Relatividade Especial.

Todas as respostas serão anotadas para que posteriormente se possa fazer uma análise delas. Neste momento o interessante é deixar que os alunos escrevam e falem o que pensam sobre o assunto para que esses conceitos possam ser refinados futuramente e vinculados a subsunçores.

Este item faz parte da **1ª aula** da UEPS e o tempo destinado para ele é de **40 minutos**.

(3) Situação-Problema

O objetivo desta situação é introduzir a viabilidade de realizar ou não o teletransporte, para montar esta situação nos baseamos em um trecho da série “*Star Trek: Discovery*”.

Este item faz parte da **2ª aula** da UEPS e o tempo destinado para ele é de **40 minutos**.

(4) Apresentação dos Conteúdos

Levando em conta os itens anteriores, nesta etapa será feita a apresentação oral dos conteúdos a serem trabalhados. É importante neste momento fazer a retomada dos conhecimentos que os alunos expuseram na sondagem de subsunçores sobre o que eles entendem por Relatividade Especial. A apresentação do conteúdo será realizada de forma dialogada com os alunos visto que alguns conceitos podem trazer a mente outros conhecimentos que eles tenham para compartilhar.

a. Introdução dos Aspectos Físicos

Para o desenvolvimento desta etapa da sequência é importante solicitar aos alunos que assistam em casa o vídeo [Special Relativity: Crash Course Physics #42](#) (8m58s) que destaca Albert Einstein como responsável por fundamentar a Relatividade Especial através de alguns postulados.

O aluno irá responder a um questionário com o objetivo de fortalecer alguns conhecimentos que podem ser obtidos com este vídeo. Posteriormente os alunos serão instigados a externalizar esses conhecimentos em sala.

Para encaminhar o aluno nesta atividade, esta etapa deve ser realizada no final da 2ª aula da UEPS sendo que o tempo destinado para estas orientações é de 5 minutos.

b. Relatividade Galileana x Relatividade Especial

É necessário neste ponto que seja muito bem fundamentado e explorado o conceito de referencial inercial, pois ele é essencial no prosseguimento da UEPS. Após estabelecer o conceito de um referencial inercial deve-se apresentar aos alunos o que é de fato a Relatividade. Como o vídeo proposto para ser assistido em casa apresenta uma comparação entre a Relatividade de Galileu e a Relatividade Especial é importante levantar uma discussão com os alunos sobre qual a área de domínio de cada uma.

Este item faz parte da 3ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 20 minutos.

c. Simultaneidade

Outro elemento-chave que deve ser abordado é a simultaneidade de eventos. É importante neste momento trazer exemplos de fácil compreensão para que os alunos consigam internalizar este conhecimento. Para estimular o processo de aprendizagem sobre simultaneidade vamos utilizar a [simulação](#) criada pelo projeto Física Vivencial, através deste objeto de aprendizagem pode-se modificar a posição de um observador e verificar a simultaneidade dos eventos.

Este item faz parte da 3ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 25 minutos.

d. Dilatação Temporal

Depois de analisar aspectos fundamentais, com as concepções de espaço e tempo como entes físicos indissociáveis e dependentes do referencial inercial adotado na Relatividade Especial vamos abordar a dilatação do tempo, para isso podemos fazer uma análise de um aparente paradoxo da Relatividade Especial: o Paradoxo de Gêmeos.

Para desenvolver esta etapa será utilizado como base o vídeo “[Complete Solution To The Twins Paradox](#)” sendo que o mesmo desenvolvimento para a solução do aparente paradoxo será apresentado em sala de aula com o uso do quadro branco, onde o professor irá demonstrar

a solução. É importante ressaltar que essa abordagem pode ser feita usando qualquer ferramenta, inclusive o quadro branco. Lembre-se que de acordo com princípio da aprendizagem significativa crítica proposta por Moreira (2017b), o foco aqui não é no treinamento para repetição, mas sim numa abordagem reflexiva, dialogada e voltada à análise de um problema físico importante. Portanto, neste momento, é essencial que o aluno seja instigado a participar.

Com a generalização podemos apresentar formalmente aos alunos a equação de dilatação temporal retratada no vídeo de apresentação do assunto, além disso, é importante motivar o estudo desse paradoxo em termos da estrutura espaço-tempo.

Este item faz parte da 4ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 45 minutos.

e. Contração do Comprimento

O próximo passo é trazer o diálogo sobre a contração do comprimento. A apresentação da equação associada a esta contração é realizada neste momento.

Utilizando como base o vídeo “[Impossible Muons](#)” e o site “[A Vida do Múon](#)” (disponibilizado pelo IFGW-Unicamp) para desenvolver esta atividade, será proposto que os alunos investiguem através de um roteiro analítico-investigativo, tanto a dilatação do tempo, já trabalhada com o paradoxo de gêmeos, quanto a contração do comprimento no caminho percorrido por múons (μ) a partir da atmosfera até chegar a superfície da Terra.

Este item faz parte da 5ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 45 minutos.

f. Energia Relativística

Após abordar os fenômenos de dilatação do tempo e de contração do comprimento vamos falar sobre a relação entre massa e energia.

A introdução deste tópico pode ser feita com a reportagem “[Cientistas propõem método para transformar luz em matéria](#)”. Depois de mostrar aos alunos a famosa equação $E = m \cdot c^2$ pode-se utilizar o [objeto de aprendizagem](#) que relaciona a energia de repouso de alguns corpos com sua estimativa de situação energética equivalente.

Aproveitamos este momento para trazer à tona alguns dos elementos trabalhados na situação-problema sobre o teletransporte, visto que esta situação aborda a possibilidade de transformar massa em energia para seu transporte através do espaço. Esta ligação é fundamental já que se espera que a análise do teletransporte se torne um subsunçor.

É importante verificar nesse momento as colocações dos alunos e comparar com as anteriores para ver se houve evolução dos argumentos.

Este item faz parte da 6ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 45 minutos.

(5) Nova Situação-Problema

Após a explanação sobre os principais tópicos que giram em torno da Relatividade Especial os alunos devem ser capazes de seguir uma atividade investigativa sobre o processo de fissão nuclear e sua relação com a energia relativística.

Os alunos poderão avaliar o potencial energético apresentado por esse processo ao comparar com a produção de energia a partir do carvão. A atividade deve ser feita de forma individual, porém o desenvolvimento da planilha pode ser feito em grupos devido a limitação de computadores.

Este item faz parte da 7ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 45 minutos.

(6) Avaliação Somativa Individual

Será avaliada a aquisição de conhecimento do aluno através de questões abertas envolvendo o conteúdo abordado, não focando em questões do tipo “certo ou errado”.

É necessário que os alunos tenham internalizado os conceitos-chaves da sequência para que a construção do conhecimento seja significativa. Portanto esta avaliação será composta por 5 questões, sendo que cada questão abordará um tópico trabalhado:

- Espaço e Tempo x Espaço-Tempo
- Simultaneidade de Eventos
- Dilatação Temporal
- Contração do Comprimento
- Massa e Energia

Este item faz parte da 8ª aula da UEPS e o tempo destinado para ele é de 45 minutos.

(7) Avaliação da Aprendizagem

A avaliação da aprendizagem será realizada durante a aplicação da UEPS, registrando tudo que possa servir de evidência para uma aprendizagem significativa como avaliação formativa. A avaliação da aprendizagem se dará através da análise dos seguintes critérios:

Tabela 1- Critérios de Avaliação da Aprendizagem

| ASPECTO | AVALIAÇÃO | NOTA | PESO | TOTAL |
|-------------------|---------------------------------------|------|------|-------|
| QUALITATIVO | Sondagem de Subsunçores | | 1,0 | |
| QUALITATIVO | Teletransporte de Star Trek | | 1,0 | |
| QUALITATIVO | Questionário de Verificação | | 1,0 | |
| QUANTITATIVO | Viagem dos Múons | | 1,5 | |
| QUANTITATIVO | Fissão Nuclear | | 1,5 | |
| QUANTITATIVO | Somativa Individual | | 2,0 | |
| QUALITATIVO | Evolução de Argumentos / Participação | | 2,0 | |
| Nota Final | | | | |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Note que esta UEPS visa a aprendizagem significativa, sendo assim, a avaliação possui tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos e que cada um desses aspectos é responsável por 50% da composição da nota final que é creditada a disciplina.

É de suma importância que o professor, ciente das limitações e potencialidades dos seus alunos, que apresente imparcialidade na atribuição de notas nas avaliações qualitativas.

(8) Avaliação da UEPS

A avaliação da UEPS é realizada pelo professor e pelos alunos com o intuito de verificar se ela foi eficiente no seu papel de desenvolver uma aprendizagem significativa e crítica. O formulário disponível no link <https://is.gd/AvaliacaoUEPS> deve ser enviado aos alunos para que possam fazer esta avaliação e deixar seus comentários caso julguem necessário.

A avaliação da UEPS será **realizada em casa** e irá ocorrer após a aplicação da última aula.

Como citado anteriormente a UEPS aplicada é encontrada na íntegra no Apêndice A. Neste material é possível verificar todas as situações propostas bem como os materiais disponibilizados para a aplicação em sala. Como apresentado no Capítulo 3, esta UEPS abordou o assunto Relatividade Especial e sua aplicação ocorreu em duas etapas de aplicação com o ensino médio, sendo a 1ª Etapa com uma turma de 1º Ano e a 2ª Etapa com uma turma de 2º Ano e uma turma de 3º Ano. A aplicação foi abrangente pois objetiva-se verificar a evolução do conhecimento nos diferentes níveis assim como possibilitar um processo de validação do produto final.

3 ASPECTOS FÍSICOS

Como descrito anteriormente, além da utilização da UEPS como uma forma significativa de ensino é necessário realizar a escolha dos tópicos que a serem abordados ao longo dessa sequência. Portanto, visando a inserção de um assunto pertinente à Física Moderna e Contemporânea, neste trabalho tem-se como foco a Relatividade Especial.

Os tópicos trabalhados ao longo de UEPS são os seguintes:

- Relatividade Galileana x Relatividade Especial
- Simultaneidade
- Dilatação do Tempo
- Contração do Comprimento
- Energia Relativística

A seguir são apresentados os aspectos físicos relacionados a cada um destes tópicos.

3.1 RELATIVIDADE GALILEANA X RELATIVIDADE ESPECIAL

A Relatividade é uma das mais importantes áreas da Física. Ela é responsável pelo estudo da medição dos eventos, seja onde e quando ocorrem, assim como qual a distância que os separa, tanto no espaço quanto no tempo.

Antes de se abordar tanto a Relatividade Galileana quanto a Relatividade Especial, é essencial que possamos definir um referencial inercial, visto que este elemento é fundamental na análise das relatividades.

Um referencial inercial é um sistema onde corpos livres não têm o seu estado de movimento alterado, ou seja, corpos livres não sofrem acelerações quando há a ausência de forças sendo exercidas. Sendo assim, esses sistemas ou estão parados ($v = 0$) ou em Movimento Retilíneo e Uniforme (MRU) uns em relação aos outros (VIEIRA, 2007).

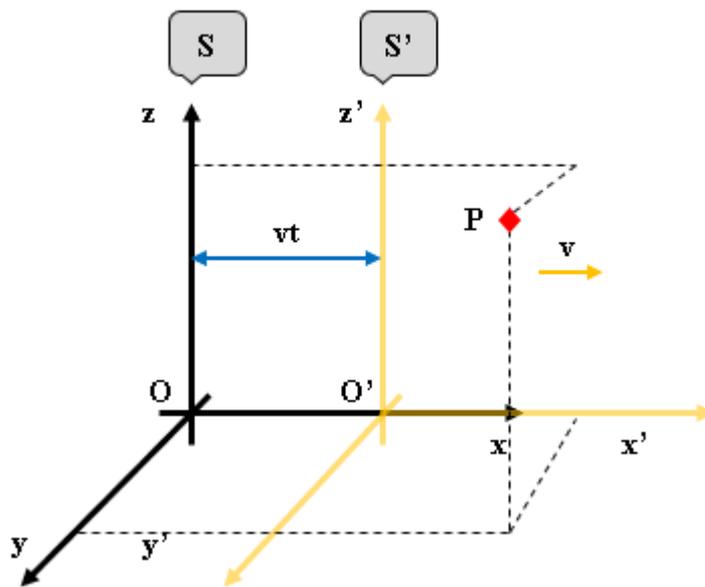
Num referencial inercial, diferentemente do não inercial, se dois corpos estão se movendo com mesma velocidade e no mesmo sentido (o referencial de um dos corpos é inercial em relação ao outro), ou seja, se a velocidade de um em relação ao outro é nula e, de alguma forma há uma variação de velocidade perpendicular à inicial, esta variação não interfere na primeira. Na prática, este tipo de situação é, de certa forma, difícil de ser obtida, dado que no “mundo real”, existem forças dissipativas, como por exemplo a resistência do ar, que dificultam esse tipo de análise (VIEIRA, 2007, p. 1).

Para a análise das relatividades é importante lembrar que os fenômenos analisados ocorrem em referenciais inerciais.

As discussões sobre relatividade iniciam com a Relatividade de Galileu. Para este cientista todas as leis da mecânica são válidas para referenciais inerciais. É importante lembrar que as principais descobertas do eletromagnetismo estavam ainda longe de serem feitas. Desse modo, na ausência de uma teoria eletromagnética e da descrição de fenômenos dessa natureza, não haveria como fundamentar um princípio da relatividade sem ter como fundamento a Mecânica.

Ao comparar eventos que ocorrem em referenciais inerciais diferentes, para a Relatividade Galileana, nos deparamos com as transformações de Galileu. Para que possamos analisar estas transformações de Galileu é apresentado a Figura 3, considerando dois sistemas inerciais onde S é considerado fixo e S' é um referencial móvel que se desloca com velocidade constante v na direção do eixo OX em relação a S.

Figura 3 - Translação (na direção $+x$) de um sistema inercial S' em relação a um sistema inercial em repouso, S.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Ao analisarmos o ponto P obtemos as coordenadas em relação ao referencial inercial S ($x; y; z$) e em relação a S' ($x'; y'; z'$). Ao relacionar os dois referenciais obtemos as transformações de Galileu:

$$x' = x - vt \quad \text{Equação 1}$$

$$y' = y \quad \text{Equação 2}$$

$$z' = z \quad \text{Equação 3}$$

$$t' = t \quad \text{Equação 4}$$

É importante salientar que o princípio da Relatividade Galileana tem como fundamento a homogeneidade temporal; isto é, o tempo passa de forma igual para todos os observadores em referenciais inerciais, o que pode ser observado na Equação 4.

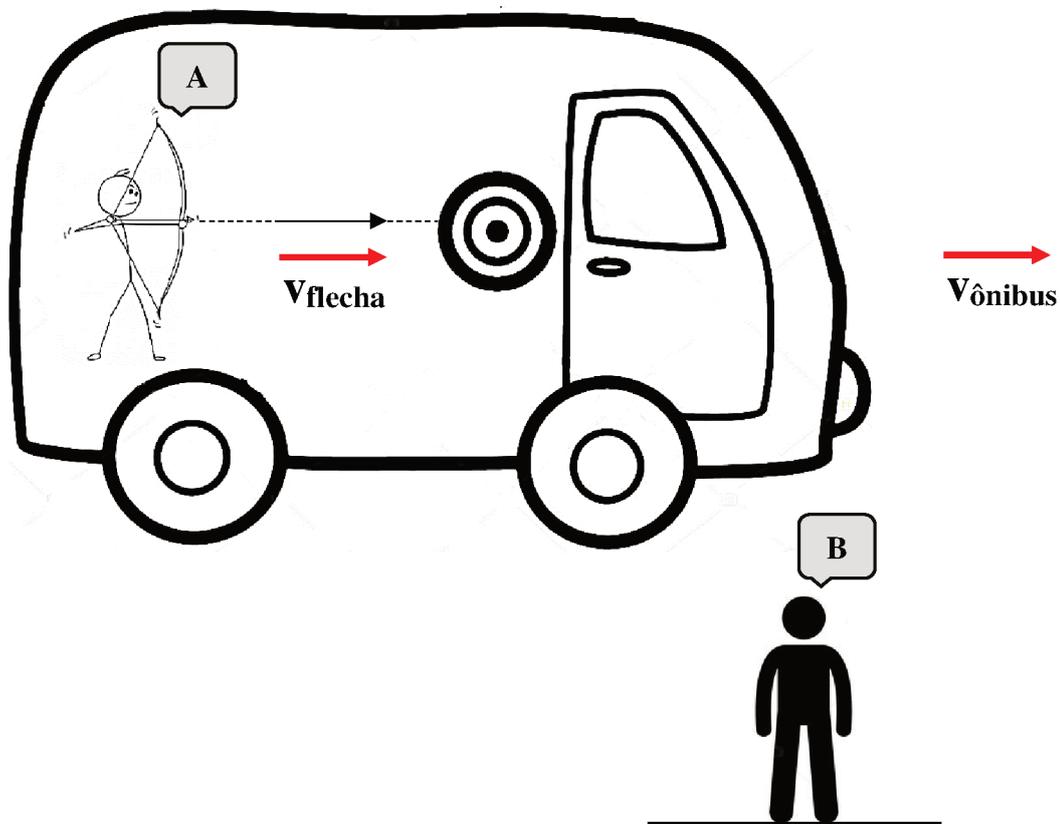
De acordo com Galileu, se um objeto se move com velocidade \vec{u}_A em relação a um referencial inercial A e este próprio referencial se move com velocidade \vec{v}_A em relação a um referencial B qualquer, então sua velocidade \vec{u}_B em relação ao referencial B será dada pela soma de ambas velocidades.

$$\vec{u}_B = \vec{u}_A + \vec{v}_A \quad \text{Equação 5}$$

A relação apresentada pela Equação 5 decorre diretamente da Equação 1, ao considerarmos o movimento do ponto P em um intervalo de tempo infinitesimal, Δt .

Observe a Figura 4, imaginemos a seguinte situação, se numa viagem de ônibus um dos passageiros (A) atira uma flecha dentro da cabine em direção ao alvo, para um observador externo (B) a velocidade da flecha seria dada pela soma vetorial da velocidade do ônibus com a velocidade da flecha.

Figura 4 - Movimento relativo e composição (adição) de velocidades em dois referenciais inerciais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A situação apresentada acima ilustra a Equação 5, e esta equação representa a Lei de Adição de Velocidade de Galileu. Através de observação sobre o comportamento da natureza, a ideia de adição de velocidades representou um grande problema para Relatividade de Galileu, conforme é apresentado por Vianna (2019, n.p.):

Sabemos há muito tempo que a Terra movimenta-se girando ao redor do Sol. Existem também estrelas com movimentos conhecidos e de grande velocidade. Porém, ao medir a velocidade da luz vinda de diferentes direções e de astros em movimento, não encontrou-se qualquer alteração na sua velocidade. Esta velocidade é a constante $c = 300.000 \text{ Km/s}$, comprovada pelos estudos de óptica e eletromagnetismo feitos até então.

Ou seja, se o nosso ônibus da situação anterior viajasse a uma velocidade v e ao invés de uma flecha sendo atirada, o passageiro A enviasse um pulso luminoso de velocidade c em direção ao alvo, o observador B iria medir a velocidade do pulso luminoso como sendo c , e não o que diz a lei da adição de velocidades de Galileu, $c + v$, pois a velocidade de luz se mantém constante independente do referencial adotado. Dessa forma, algo deveria estar errado! Como seria possível tornar o resultado dessa situação compatível com as teorias aceitas até então? (VIANNA, 2019).

A solução deste problema surge com a Relatividade Especial, desenvolvida por Albert Einstein. Ele, diferentemente de Galileu, possui uma base muito mais consolidada de descobertas para fundamentar o seu novo princípio da relatividade. Sendo assim, em essência, o princípio da Relatividade de Einstein é baseado em dois postulados:

1º) As leis da Física são válidas para todos os referenciais inerciais, estendendo assim a Relatividade Galileana para toda a Física ao invés de somente a mecânica.

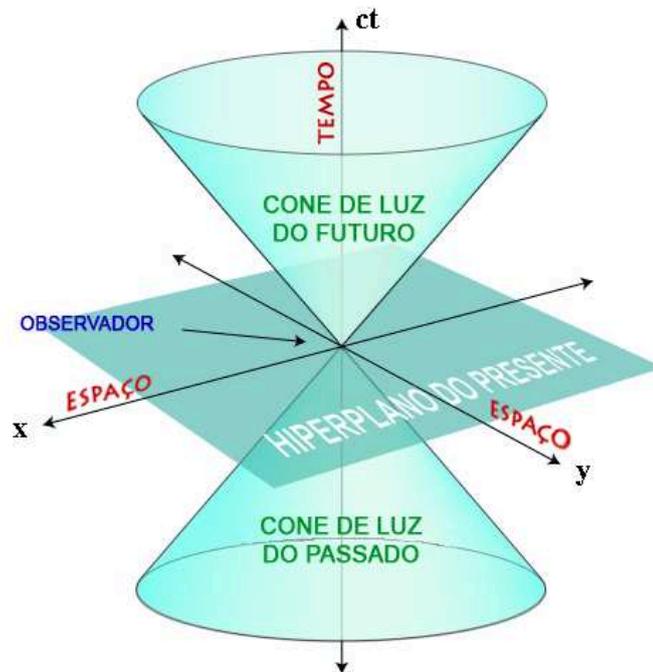
2º) A velocidade da luz (c) no vácuo é a mesma para qualquer referencial inercial, independente da direção e da velocidade do corpo emissor.

Estes postulados trazem consequências nada triviais, pois se a velocidade da luz é constante mesmo tendo o emissor em movimento relativo, algo deveria ser alterado a fim de que as leis da Física permaneçam as mesmas. De fato, conforme comprovado por diversos experimentos, medidas de tempo e de comprimento podem variar de acordo com a velocidade de um referencial em movimento. Deve-se ressaltar, contudo, que é somente no regime de grandes velocidades que os fenômenos da relatividade especial se manifestam de maneira inequívoca. Assim, em baixas velocidades ($v \ll c$), permanece válido o princípio da relatividade Galileana. Sendo assim, ao analisar o movimento de uma nave que viaje próximo a velocidade

da luz, dois observadores, um fora e outro dentro da nave, obteriam valores diferentes para estas grandezas.

Partindo dessa premissa podemos considerar que espaço e tempo devem ser tratados como como entidades que estão diretamente relacionadas criando nossa concepção atual de espaço-tempo. Portanto, para que possamos analisar essa concepção podemos utilizar a representação do espaço de Minkowski (Figura 5). A relação espaço-tempo nos dá três dimensões de espaço (x, y, x) e uma dimensão de tempo (t), sendo que uma representação de um evento quadrimensional seria difícil, o espaço de Minkowski nos dá uma representação tridimensional escolhendo-se dois eixos horizontais como as dimensões espaciais e o eixo vertical como o tempo.

Figura 5 - Representação da estrutura do espaço-tempo no espaço de Minkowski.



Fonte: AcidZero (2009), modificada pelo autor (2019).

O cone de luz é uma superfície para a qual a seguinte relação é válida:

$$x^2 + y^2 \leq (ct)^2 \quad \text{Equação 6}$$

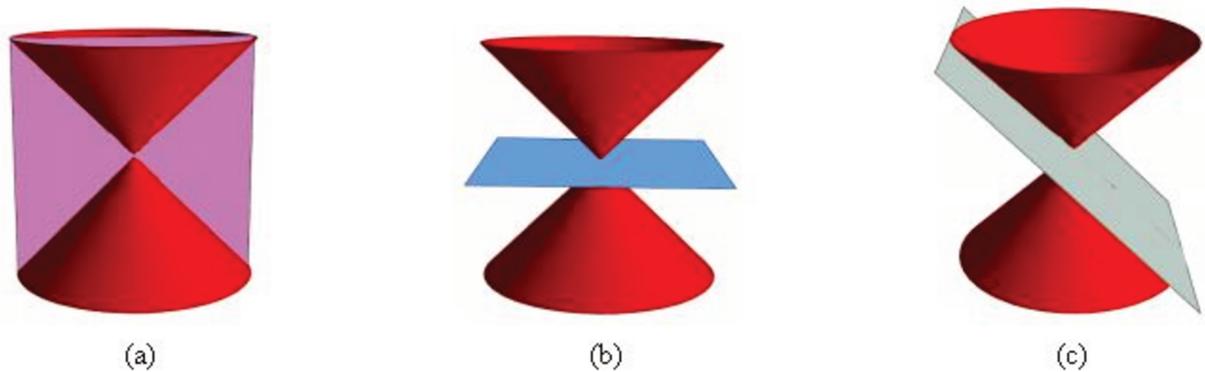
Nesse caso as relações entre as coordenadas espaciais a um limite superior (a geratriz do cone). Essa estrutura permite dividir em três categorias eventos no espaço-tempo:

1. eventos dentro do cone de luz (ditos "tipo tempo"), para os quais a separação espacial é menor do que a distância percorrida pela luz no certo intervalo de tempo, Δt ;
2. eventos fora do cone de luz (ditos "tipo espaço"), para os quais a separação espacial é maior do que a distância percorrida pela luz no certo intervalo de tempo, Δt ;

3. eventos na superfície do cone (ditos "tipo luz"), para os quais a separação espacial é igual à distância percorrida pela luz no certo intervalo de tempo, Δt .

Observa-se na Figura 6 os planos formados pelos eventos de acordo com o seu "tipo", sendo (a) o plano tipo tempo, (b) o plano tipo espaço e (c) o plano tipo luz.

Figura 6 – Planos formados no espaço de Minkowski

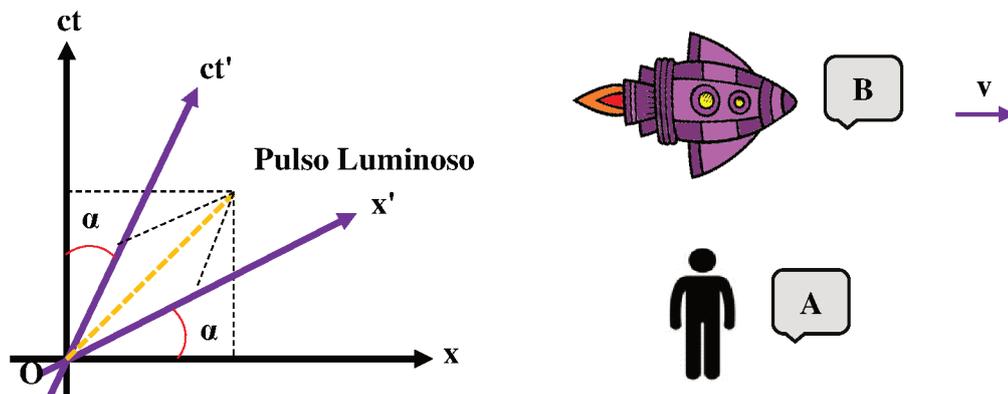


Fonte: Sacramento (2015), modificada pelo autor (2019).

Voltando ao nosso problema, temos que segundo Galileu a relação entre x e x' é dada pela Equação 1, porém a velocidade da luz não seria a mesma em qualquer referencial visto o que prediz sua lei de adição de velocidades. Para corrigir as transformações de Galileu é necessário um fator multiplicador que estabeleça a relação correta entre x e x' e mantenha a constância da velocidade da luz. Este fator é representado por γ e é chamado de fator de Lorentz. Com a inclusão deste fator as Transformações de Galileu se modificam para as Transformações de Lorentz.

Utilizando o espaço de Minkowski podemos analisar a situação particular abaixo (Figura 7) que nos permite corrigir as Transformações de Galileu de modo a considerar a constância da velocidade da luz apresentada nos postulados de Einstein e realizar a dedução para as Transformações de Lorentz.

Figura 7 - Análise do Espaço de Minkowski



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Temos dois observadores, A e B, o observador A está em repouso em relação a B que está em MRU com velocidade \vec{v} . Se considerarmos B em repouso em relação a A, então A se movimentará com uma velocidade $-\vec{v}$. Note que entre x e x' e entre ct e ct' há um mesmo ângulo α , sendo que este ângulo é dependente da velocidade do observador em movimento, neste caso B, onde temos que:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v}{c} \quad \text{Equação 7}$$

Ao analisar a Equação 7 verificamos que conforme a velocidade v aumenta os eixos x' e ct' tendem a se coincidir, mostrando que o espaço e o tempo são interacionáveis pertencendo a uma mesma estrutura (espaço-tempo). O mesmo tempo observamos que existe uma simetria na representação apresentada anteriormente.

Consideremos um pulso luminoso que parte da origem O, formando 45° com os eixos, atinge um asteroide que é então observado pelos observadores A e B, teremos que:

$$x = ct \quad \text{Equação 8}$$

$$x' = ct' \quad \text{Equação 9}$$

Ao incluir o fator de Lorentz nas Transformações de Galileu temos:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad \text{Equação 10}$$

$$x = \gamma(x' + vt') \quad \text{Equação 11}$$

Note que pela simetria apresentada no espaço de Minkowski o fator γ é o mesmo para qualquer referencial.

Ao multiplicar cada um dos lados da igualdade das equações 10 e 11 obtemos:

$$xx' = \gamma^2(xx' + xvt' - vtx' - v^2tt') \quad \text{Equação 12}$$

Tomando o 1º postulado da relatividade, que nos diz que a velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais, podemos considerar o evento particular apresentado acima (Figura 7) onde um pulso de luz possui a mesma origem para os dois referenciais inerciais (A e B) e fazer as substituições das equações 8 e 9 na equação 12.

$$ctct' = \gamma^2(ctct' + ctvt' - ctvt' - v^2tt')$$

$$c^2tt' = \gamma^2(c^2tt' + ctvt' - ctvt' - v^2tt')$$

$$c^2tt' = \gamma^2(c^2tt' - v^2tt')$$

$$c^2 = \frac{\gamma^2(c^2tt' - v^2tt')}{tt'}$$

$$c^2 = \gamma^2(c^2 - v^2) \quad \text{Equação 13}$$

Ao isolar γ na equação 13 obtemos finalmente o fator de Lorentz:

$$\gamma^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Equação 14}$$

Note que há uma relação entre o ângulo α e o fator γ evidenciada por v/c , ou seja, o aumento do ângulo indica um aumento da velocidade v , conseqüentemente, γ tende ao infinito e os eixos x' e ct' tendem a se sobrepor.

Para Galileu $t = t'$, ou seja, o tempo era absoluto, porém na estrutura espaço-tempo, esta entidade passa a ser relativa e depende da velocidade do observador. Se partirmos das deduções realizadas anteriormente, pode-se isolar t' na Equação 11 de forma a obter:

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) \quad \text{Equação 15}$$

Sendo assim, a relação entre as coordenadas espaço-tempo x, y, z e t de um evento para o referencial A e as coordenadas x', y', z' e t' do mesmo evento o referencial B que se mova a velocidade constante em relação a A é de grande importância e um conseqüência dos postulados de Einstein.

Tabela 2 - Transformações de Lorentz

| | |
|--|--|
| $x' = \gamma(x - vt)$ | $y' = y$ |
| $z' = z$ | $t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$ |
| Sendo o fator de Lorentz (γ): | $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Tabela 2 acima apresentamos um panorama geral das transformações de Lorentz, considerando o movimento relativo apenas na direção $+x$.

É importante observar que quando v é muito menor que c ($v \ll c$) as equações se reduzem as transformações de Galileu, pois $v/c \rightarrow 0$ sendo assim $\gamma \rightarrow 1$, então obteremos novamente as equações 1 e 4 para x' e t' .

3.2 SIMULTANEIDADE

Uma das principais conseqüências observadas ao se considerar a Relatividade Especial é o abandono dos conceitos de espaço e tempo absoluto. A estrutura deixa de ser analisada em termos de espaço e tempo segundo as Transformações de Galileu para ser analisada através das Transformações de Lorentz para intervalos Δt e Δx (espaço-tempo), tornando essas grandezas relativas.

Considerando a estrutura espaço-tempo, onde podemos imaginar dois observadores em referenciais inerciais diferentes, teremos que, estes observadores “[...] em movimento relativo não concordam, em geral, quanto a simultaneidade de dois eventos. Se um dos

observadores os considera simultâneos, o outro em geral conclui que não são simultâneos” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016, p. 326).

Não é possível julgar a opinião de um dos observadores como incorreta, pois ambas as observações são válidas.

Para construir nossa discussão vamos avaliar as situações apresentadas na Figura 8.

- **Situação I:** Um carrinho parte do emissor O em direção ao emissor P com velocidade \vec{v} , enquanto isso o observador A encontra-se em repouso no transmissor T localizado exatamente no meio do percurso.
- **Situação II:** Quando o carrinho passa pelo transmissor T, este transmissor envia um sinal aos emissores O e P que se encontram sincronizados. O emissor O emite um sinal luminoso azul enquanto o emissor P emite um sinal luminoso vermelho.
- **Situação III:** Como o carrinho se move no sentido contrário ao pulso vermelho, o observador B vê o pulso vermelho primeiro.
- **Situação IV:** O observador A, por estar localizado exatamente no meio do percurso observa os pulsos vermelho e azul simultaneamente.
- **Situação V:** Finalmente o pulso azul, que se move no mesmo sentido do carrinho, é visto pelo observador B.

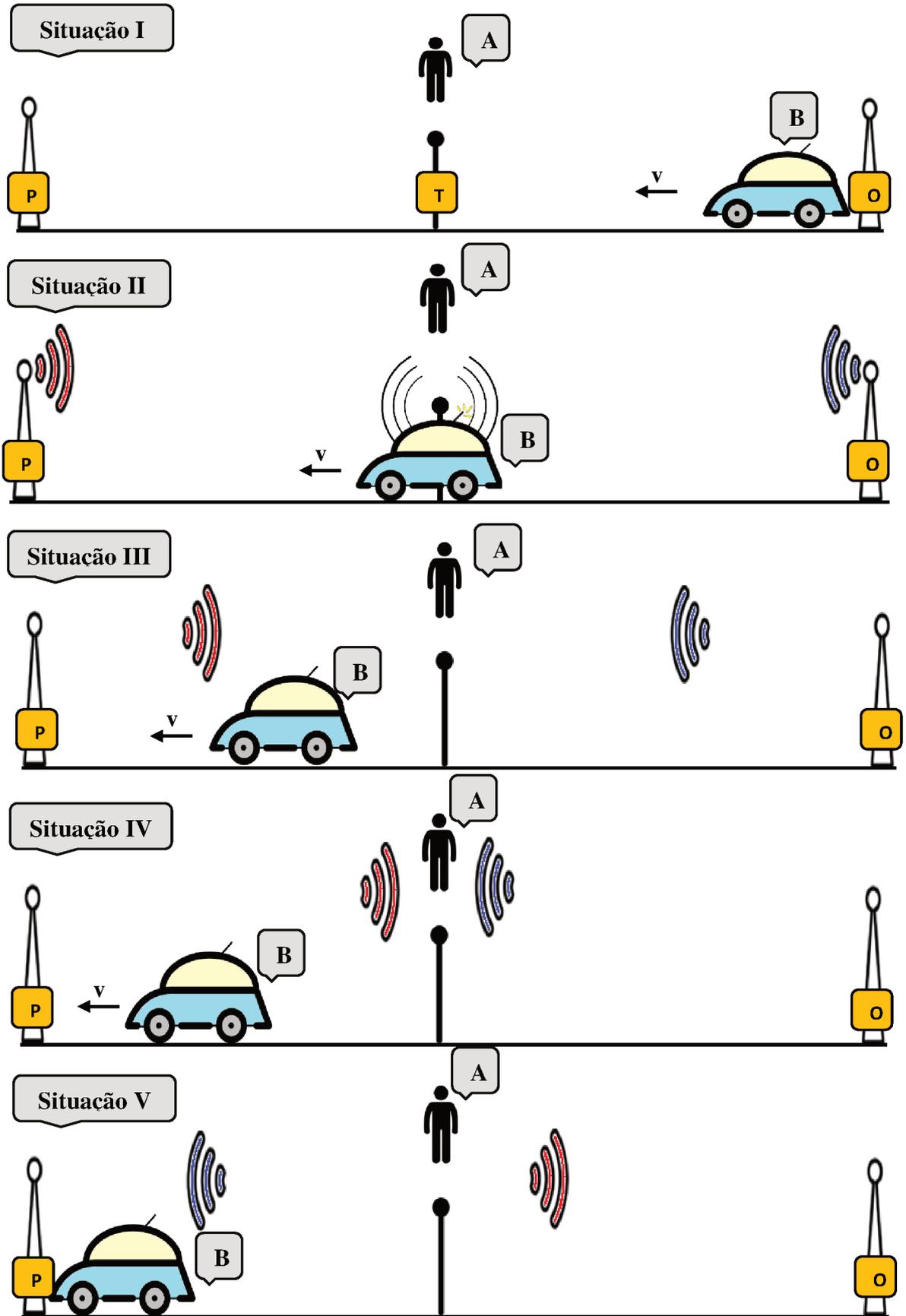
Pode-se concluir que, apesar de os dois pulsos serem emitidos simultaneamente em relação ao observador A, o observador B discordaria desta afirmação, pois em seu referencial o pulso vermelho foi emitido antes do pulso azul.

Se o pulso azul emitido do ponto O parte no instante t_1 e o pulso vermelho emitido do ponto P parte no instante t_2 , podemos dizer que estes dois eventos são simultâneos ($t_1 = t_2$), dada a sincronização para emissão dos dois pulsos quando o carrinho passa por T. Uma análise importante está na simultaneidade dos eventos de captação dos pulsos azul e vermelho, para o observador A que se encontra em T, que é o ponto médio do segmento \overline{PO} , eles são simultâneos, o que não ocorre para o observador B.

“Observe que existe apenas uma frente de onda partindo do local de cada evento e que essa frente de onda se propaga com a mesma velocidade c em qualquer referencial, como exige o postulado da velocidade da luz” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016, p. 328).

Embora cada observador possa analisar o fenômeno de uma forma diferente, ambos estão corretos quando considerado o movimento relativo entre seus referenciais.

Figura 8 - Análise da Simultaneidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A partir da Equação 15 podemos obter sua correspondente inversa e incluir uma variação Δ , sendo assim é possível realizar uma análise da simultaneidade pelas transformações de Lorentz.

$$\Delta t = \gamma \left(\Delta t' + \frac{v}{c^2} \Delta x' \right) \quad \text{Equação 16}$$

Se dois eventos fossem simultâneos ($t_1 = t_2$) em relação ao observador B do nosso exemplo anterior então $\Delta t' = 0$ e $\Delta x' \neq 0$, sendo assim para o observador A, teríamos que,

$$\Delta t = \gamma \left(\frac{v}{c^2} \Delta x' \right) \quad \text{Equação 17}$$

ou seja, os eventos não seriam simultâneos (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016); o que contradiz as observações do experimento. Logo, os eventos para B não são simultâneos, como já poderíamos antecipar a partir do experimento.

Ao longo da UEPS a simultaneidade foi apresentada aos alunos com o auxílio de uma simulação que apresentava uma situação similar à da Figura 8, porém permitindo aos alunos modificar a posição do observado em repouso e também do transmissor.

3.3 DILATAÇÃO DO TEMPO

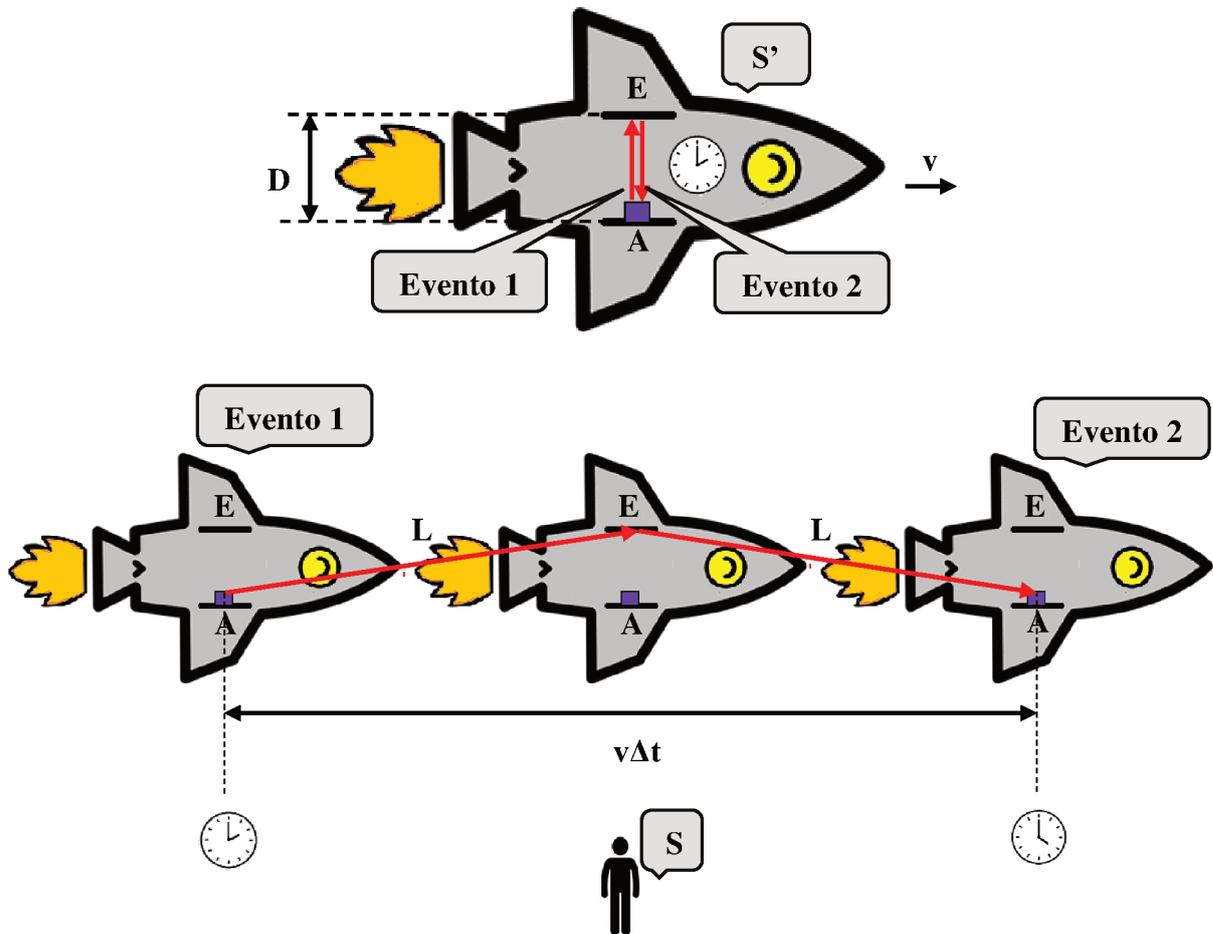
A dilatação do tempo assim como a simultaneidade é uma consequência dos postulados de Einstein e das transformações de Lorentz. Para desenvolver este fenômeno relativístico vamos analisar o comportamento dos intervalos de tempo para diferentes referenciais (S e S') que são apresentados na Figura 9.

Vamos considerar um observador que está localizado em A e em repouso no referencial inercial S'. No ponto A também se localizam um emissor e um detector de pulsos luminosos. Então, do ponto A é emitido um pulso luminoso até um espelho fixo em E que está a uma distância D no mesmo referencial S'. Ao emitir o pulso luminoso o observador em A registra um intervalo de tempo $\Delta t'$, que pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\Delta t' = \frac{2D}{c} \quad \text{Equação 18}$$

sendo $2D$ a distância percorrida pelo pulso luminoso (ida e volta) e c a velocidade da luz. Observe que o evento 1 (emissão do pulso) e o evento 2 (detecção do pulso) ocorrem no mesmo local, sendo medido pelo mesmo relógio. É importante ressaltar que $\Delta t'$, também representado por Δt_0 , é chamado de intervalo de tempo próprio e representa o intervalo de tempo para dois eventos que ocorrem no mesmo ponto do espaço.

Figura 9 - Análise da Dilatação Temporal



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Ao analisar a mesma emissão, só que agora pelo observador localizado no referencial inercial S que observa o referencial S' se movimentar com velocidade v na direção x , o trajeto realizado pelo pulso luminoso apresentado é diferente.

Entre os instantes de tempo em que o pulso luminoso é gerado, refletido e detectado o observador em S' se desloca uma distância $v\Delta t$ em relação ao referencial S, sendo Δt o intervalo de tempo medido pelo observador que também está em S. O intervalo Δt é o chamado de intervalo de tempo dilatado, pois no referencial S o pulso luminoso percorre uma distância maior que em S'. Note que os eventos 1 e 2 ocorrem em pontos distintos do espaço-tempo para S, sendo que tanto a emissão quanto a detecção do pulso luminoso são registrados por relógios diferentes.

Para o referencial S, o Δt é dado por:

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \quad \text{Equação 19}$$

Utilizando o Teorema de Pitágoras podemos concluir que:

$$L = \sqrt{\left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 + D^2} \quad \text{Equação 20}$$

Isolando D na Equação 18 obtemos:

$$D = \frac{c\Delta t'}{2} \quad \text{Equação 21}$$

Isolando L na Equação 19:

$$L = \frac{c\Delta t}{2} \quad \text{Equação 22}$$

Substituindo a Equação 21 e a Equação 22 na Equação 20 temos:

$$\begin{aligned} \frac{c\Delta t}{2} &= \sqrt{\left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 + \left(\frac{c\Delta t'}{2}\right)^2} \\ c^2\Delta t^2 &= v^2\Delta t^2 + c^2\Delta t'^2 \\ \Delta t^2(c^2 - v^2) &= c^2\Delta t'^2 \\ \Delta t^2 &= \frac{\Delta t'^2}{(c^2 - v^2)/c^2} \end{aligned} \quad \text{Equação 23}$$

Isolando Δt , temos:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Equação 24}$$

Ou,

$$\Delta t = \gamma\Delta t' \quad \text{Equação 25}$$

A Equação 25 nos mostra que a relação entre Δt e $\Delta t'$ é, na verdade, a transformação inversa de Lorentz para o tempo, sendo considerado $\Delta x' = 0$. Novamente se faz necessário destacar que quando $v \ll c$, $\gamma \rightarrow 1$ a Equação 25 se reduz à transformação de Galileu apresentada anteriormente.

A dilatação do tempo não é algo trivial no nosso cotidiano onde tudo se move a velocidades muito inferiores à da luz, porém ela foi crucial na determinação do porquê da elevada quantidade de múons detectados na superfície do planeta, sendo essa uma atividade desenvolvida com os alunos ao longo da UEPS.

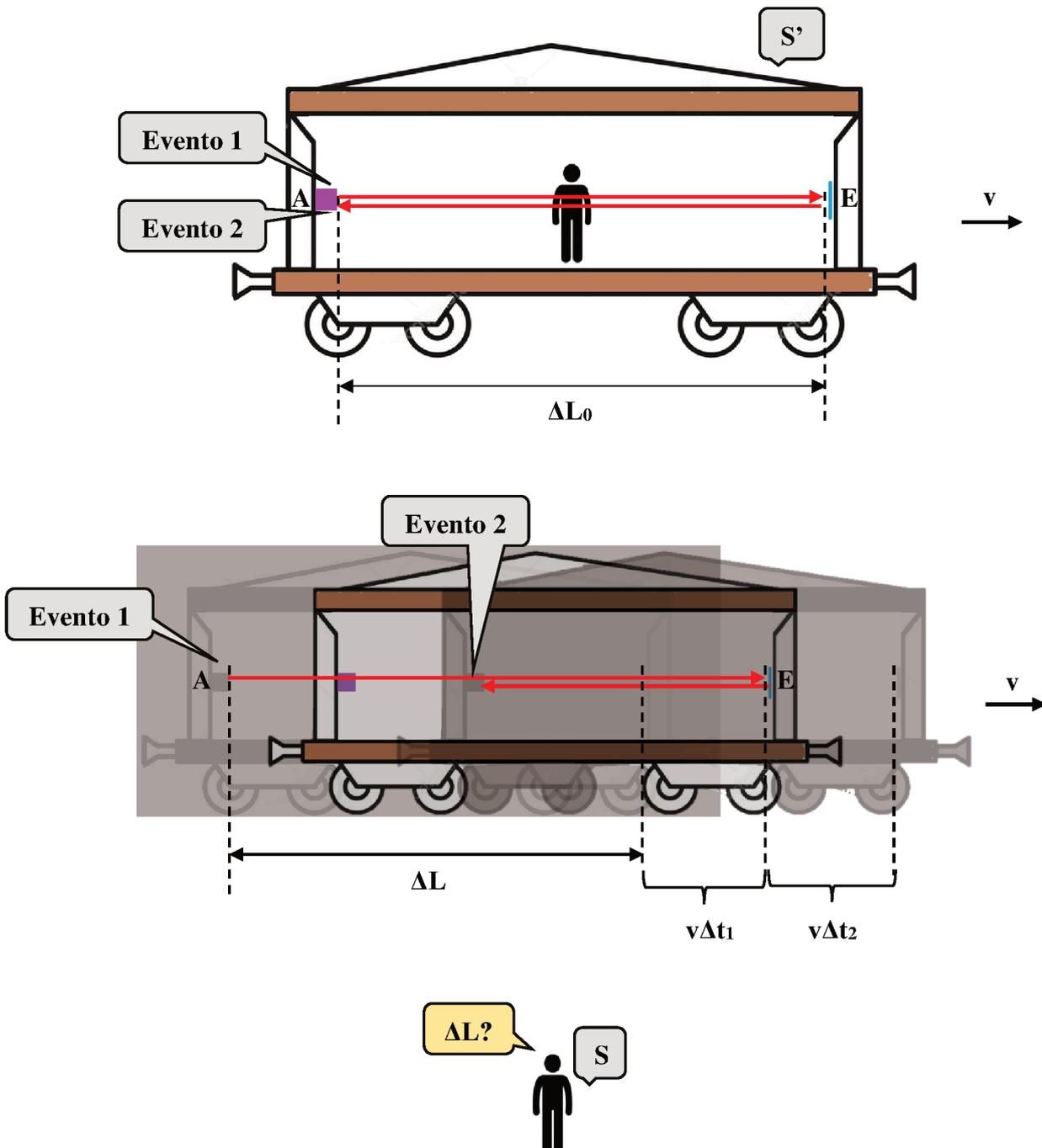
3.4 CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

A contração do comprimento é uma consequência direta da dilatação do tempo, e assim como a dilatação do tempo, não é algo trivial, visto que tudo à nossa volta se move com velocidades muito menores que a velocidade da luz.

Ao analisar a contração do comprimento nos deparamos com ΔL_0 , denominado comprimento próprio, que é a medida de um corpo realizada no referencial no qual este se encontra em repouso, sendo, portanto, ΔL a medida para o referencial em movimento.

Verificando a Figura 10 nos é apresentado um vagão de um trem que se move com uma velocidade \vec{v} .

Figura 10 - Análise da Contração do Comprimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Um observador, dentro do vagão (S'), e em repouso em relação a ele observa que um pulso luminoso emitido do ponto A, reflete no espelho E e retorna a origem (A) onde é detectado. O comprimento ΔL_0 indica o comprimento próprio medido em relação ao referencial em repouso. Note que o intervalo de tempo apresentado para S' é Δt_0 pois os eventos ocorrem num mesmo ponto no espaço-tempo. Δt_0 pode ser obtido considerando-se:

$$\Delta t_0 = \frac{2\Delta L_0}{c} \quad \text{Equação 26}$$

Já para um observador localizado no referencial inercial S é possível notar que o percurso ΔL do pulso luminoso é menor que ΔL_0 . Se considerarmos d como a distância de ida do pulso luminoso teremos:

$$d = \Delta L + v\Delta t_1 \quad \text{Equação 27}$$

Ou, considerando a velocidade da luz como sendo c :

$$d = c\Delta t_1 \quad \text{Equação 28}$$

Substituindo a Equação 28 na Equação 27, obtemos:

$$c\Delta t_1 = \Delta L + v\Delta t_1$$

$$c\Delta t_1 - v\Delta t_1 = \Delta L$$

$$\Delta t_1(c - v) = \Delta L$$

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta L}{c - v} \quad \text{Equação 29}$$

OBS: É importante ressaltar que ao realizar a divisão de ΔL por $c - v$ não implica que a luz se desloque com uma velocidade $c - v$, mas sim que a distância percorrida por ela em S é maior que ΔL (YOUNG e FREEDMAN, 2016).

Para o pulso luminoso que reflete no espelho e retorna ao ponto A podemos realizar o mesmo raciocínio lógico:

$$d = \Delta L - v\Delta t_2 \quad \text{Equação 30}$$

$$d = c\Delta t_2 \quad \text{Equação 31}$$

Substituindo a Equação 31 na Equação 30 como realizado anteriormente teremos:

$$c\Delta t_2 = \Delta L - v\Delta t_2$$

$$c\Delta t_2 + v\Delta t_2 = \Delta L$$

$$\Delta t_2(c + v) = \Delta L$$

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta L}{c + v} \quad \text{Equação 32}$$

OBS: Como alertado anteriormente, a divisão de ΔL por $c + v$ não implica que a luz se desloque com uma velocidade $c + v$, mas sim que a distância percorrida por ela em S é menor que ΔL (YOUNG e FREEDMAN, 2016).

O intervalo de tempo de ida e volta medido pelo observador em S é dado por Δt :

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad \text{Equação 33}$$

Substituindo as Equações 29 e 32 na Equação 33:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{\Delta L}{c - v} + \frac{\Delta L}{c + v} \\ \Delta t &= \frac{\Delta L(c + v) + \Delta L(c - v)}{(c - v)(c + v)} \\ \Delta t &= \frac{\Delta Lc + \Delta Lv + \Delta Lc - \Delta Lv}{c^2 - vc + vc - v^2} \\ \Delta t &= \frac{2\Delta Lc}{c^2 - v^2} \\ \Delta t &= \frac{2\Delta L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \quad \text{Equação 34} \end{aligned}$$

Sabemos que a relação entre Δt e Δt_0 ($\Delta t'$) já foi determinada pela Equação 24, e que Δt_0 é o tempo próprio em S'. Logo, isolando Δt_0 na Equação 24 e substituindo na Equação 26 de ida e volta do pulso luminoso no referencial S' temos:

$$\Delta t \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{2\Delta L_0}{c} \quad \text{Equação 35}$$

Finalmente unindo as Equações 34 e 35:

$$\begin{aligned} \frac{2\Delta L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} &= \frac{2\Delta L_0}{c} \\ \frac{\Delta L}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} &= \Delta L_0 \\ \Delta L &= \Delta L_0 \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \quad \text{Equação 36} \end{aligned}$$

Lembrando do fator γ podemos readaptar a Equação 36:

$$\Delta L = \frac{\Delta L_0}{\gamma} \quad \text{Equação 37}$$

A Equação 37 representa a equação da contração do comprimento e como o fator de Lorentz (γ) é sempre maior que 1 para velocidades $v \neq 0$, então ΔL será menor que ΔL_0 .

É importante ressaltar que a contração do comprimento sempre ocorrerá apenas na direção do movimento relativo (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016).

Assim como foi realizada a análise da dilatação temporal com a situação da viagem dos múons até a superfície do planeta, o roteiro investigativo proposto também abordou a análise sob a perspectiva da contração do comprimento, comprovando sua importância neste evento.

A contração do comprimento é real, visto que ela está embasada em medidas reais obtidas por um observador. Porém a visualização desses objetos que se movem próximos a velocidade da luz é mais bem explicada por um efeito conhecido por Efeito Terrell-Penrose (NUSSENZVEIG, 2002).

Lembre-se que a visualização de um determinado objeto ocorre através dos raios de luz que partem deste objeto e são detectados em nossos olhos. Quando o movimento ocorre em velocidades muito menores que a da luz os raios que chegam aos nossos olhos o fazem de forma praticamente simultânea, o que não permite observar qualquer distorção. Segundo Nussenzveig (2002, p. 194):

A razão é que a imagem de um objeto, quer na retina, quer numa chapa fotográfica, é formado por raios de luz que chegam essencialmente ao mesmo tempo para formar a imagem, mas, por isto mesmo, partiram do objeto em os instantes diferentes, conforme o ponto de onde provêm. Devido ao movimento do objeto, não temos então uma representação “instantânea” dele, mas sim uma imagem distorcida, representando a posição de diferentes pontos em diferentes instantes [em relação a S].

O Efeito Terrell-Penrose analisa objetos relativísticos que são vistos como rotacionados em torno de um eixo perpendicular à direção do movimento.

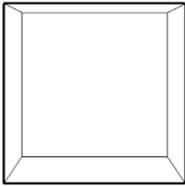
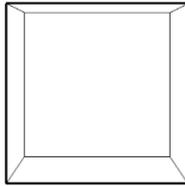
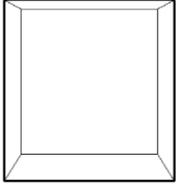
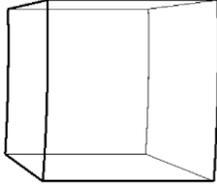
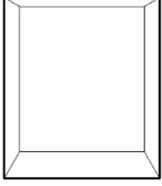
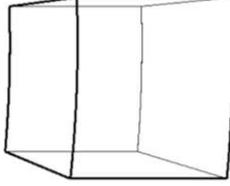
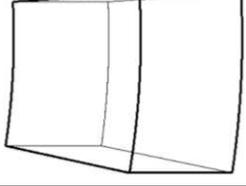
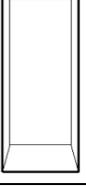
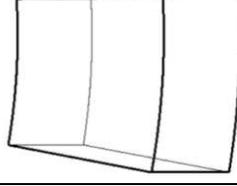
Vamos considerar a situação apresentada por Souza (2019), onde um cubo que se movimenta perpendicularmente em relação ao campo de visão de um observador.

- De acordo com a mecânica clássica o observador vê o cubo com as mesmas dimensões e exatamente na mesma posição quando o raio de luz partiu do cubo (a velocidade da luz é infinita, e, portanto, demora 0 segundos a atingir o olho do observador).
- Na Relatividade Especial tal situação não ocorre. Antes de mais nada o cubo encontra-se distorcido segundo a contração do espaço. Não sendo o suficiente, ocorre um

fenômeno chamado de aberração dos raios de luz, que consiste no fato de nem todas as partes do cubo se encontrarem à mesma distância do observador. Ao verificarmos a situação, percebemos que um raio que parta da face mais distante do cubo demora mais tempo a chegar ao observador, uma vez que esta se encontra mais longe e a velocidade da luz é finita. Sendo assim, os raios de luz que chegam simultaneamente ao observador não partiram simultaneamente do objeto, mostrando por isso uma aberração da forma contraída deste.

Observe a Tabela 3 abaixo que demonstra a aparência visual de um cubo em diferentes velocidades em termos de c .

Tabela 3 - Visualização de Objetos em Altas Velocidades

| VELOCIDADE | CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO | APARÊNCIA VISUAL |
|------------|---|---|
| 0,00c |  |  |
| 0,35c |  |  |
| 0,50c |  |  |
| 0,85c |  |  |
| 0,90c |  |  |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.5 ENERGIA RELATIVÍSTICA

Quando analisamos um processo de fusão, ou fissão, ou deterioração radioativa ou aniquilação matéria-antimatéria, em nenhuma dessas situações a lei da conservação de massas apresentada na Química é válida. Porém algo é real, a variação da quantidade de massa é proporcional a quantidade de energia liberada nestes processos.

A maior equação de Einstein, $E = mc^2$, é um triunfo do poder e da simplicidade da Física fundamental. A matéria tem uma quantidade inerente de energia, a massa pode ser convertida (nas condições certas) em energia pura, e a energia pode ser usada para criar objetos maciços que não existiam anteriormente. Pensar em problemas dessa maneira nos permitiu descobrir as partículas fundamentais que compõem o nosso Universo, inventar energia nuclear e armas nucleares [...] (WADE, 2018, n.p.).

A energia associada a massa m de um corpo é apresentada na Equação 38. Esta energia é chamada de energia de repouso e representada por E_0 . O uso desta nomenclatura é justificada pelo fato de um corpo de massa m em repouso apresentar essa quantidade de energia.

$$E_0 = mc^2 \quad \text{Equação 38}$$

A relação apresentada na Equação 38 “[...] mostra que a massa é uma manifestação de energia. Ela também mostra que uma pequena massa corresponde a uma quantidade enorme de energia. Esse conceito é fundamental para a maior parte do campo da Física Nuclear” (SERWAY e JEWETT, 2014, p. 302).

A energia total (E) de um corpo, esteja ele em repouso ou em movimento com velocidade constante pode ser dada por:

$$E = \gamma mc^2 \quad \text{Equação 39}$$

Observe que o fator de Lorentz é introduzido na equação, e este depende da velocidade v do corpo, sendo possível readaptar a Equação 39 utilizando a Equação 14:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \text{Equação 40}$$

Ainda é possível analisar a energia total expressa por um corpo considerando sua energia cinética (K) e de repouso (E_0).

$$E = K + E_0 \quad \text{Equação 41}$$

É importante ressaltar que a energia cinética clássica, representada por

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Equação 42}$$

constitui uma boa aproximação para velocidades muito menores que a da luz ($v \ll c$). Porém pode-se obter um valor de energia cinética válido para qualquer valor de velocidade considerando a Equação 41 e realizar as substituições de equivalência apresentadas nas Equações 38 e 39 como demonstrado abaixo:

$$\gamma mc^2 = K + mc^2 \Rightarrow K = \gamma mc^2 - mc^2$$

$$K = mc^2(\gamma - 1) \quad \text{Equação 43}$$

Ao considerar um corpo em repouso ($K = 0$), teremos que $E = E_0$, sendo assim,

$$E = mc^2 \quad \text{Equação 44}$$

Note que a Equação 44 nos retorna à famosa equação da Física, que já foi discutida anteriormente.

Na UEPS buscamos trabalhar a energia relativística através de um roteiro para análise do processo de fissão nuclear, fenômeno presente principalmente na produção de energia elétrica e na fabricação de bombas nucleares.

O processo de fissão nuclear envolve a produção de energia através de reações nucleares.

Quando um núcleo de urânio sofre fissão em um reator nuclear, a soma das massas de repouso dos fragmentos resultantes da reação é menor que a soma das massas de repouso dos núcleos antes da fissão. A quantidade de energia liberada é igual à diminuição da massa multiplicada por c^2 . A maior parte dessa energia pode ser usada para produzir o vapor que impulsiona as turbinas para gerar energia elétrica (YOUNG e FREEDMAN, 2016, p. 188).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A aplicação do produto desenvolvido neste projeto ocorreu no período de agosto a outubro de 2019 e foi realizada no Colégio Visão – Unidade Céletin Freinet, um colégio particular no município de Blumenau/SC, com turmas dos três anos do Ensino Médio. As salas de aula do colégio eram equipadas com notebook, que permitia o acesso à internet, sistema de som e projetor.

A aplicação com todos os anos do Ensino Médio tinha o intuito de verificar a evolução da capacidade de aquisição de conhecimento e ao mesmo tempo permitir que houvesse um processo de validação entre uma etapa e outra sendo que estas ocorreram da seguinte maneira:

- 1ª Etapa – 1º Ano
- 2ª Etapa – 2º e 3º anos

Como citado, um ponto muito importante desta estratégia foi realizar ao menos uma validação entre a 1ª e a 2ª etapa. Os resultados obtidos na 1ª etapa foram importantes para que algumas modificações fossem realizadas antes da nova etapa. Essa validação se deu pela avaliação do desenvolvimento dos alunos (lembrando que visamos uma aprendizagem significativa), pela evolução de argumentos e pela própria avaliação da UEPS realizada pelos alunos no encerramento das aulas.

Segundo Talim (2004, p. 317), “o processo de validação nunca dá uma resposta definitiva e sempre é possível que apareça alguma evidência da não validade dessa interpretação. Tudo o que podemos fazer é coletar o maior número possível de evidências favoráveis.” Sendo assim, deve-se apresentar o melhor resultado dentre todas as possibilidades que a UEPS nos traz.

É primordial destacar neste ponto que a relação professor x alunos e alunos x alunos nas turmas as quais a UEPS foi aplicada sempre foi dialógica. Os alunos foram, ao longo dos anos, constantemente instigados a questionar e já possuíam essa característica aflorada.

Ao longo deste tópico, fundamentado na aprendizagem significativa crítica e na estrutura principal das unidades de ensino potencialmente significativo, será realizada uma análise criteriosa das etapas de aplicação e dos resultados obtidos.

É importante ressaltar que sempre que se fala na Avaliação da UEPS, estamos nos referindo a avaliação respondida pelo aluno ao final da aplicação via formulário online. Mais informações a respeito da avaliação da UEPS são encontradas no Apêndice A.

4.1 REGISTRO DE AULA – 1º ETAPA

Como apresentado anteriormente, esta etapa ocorreu com a aplicação do produto para uma turma de 1º ano do Ensino Médio. Para que alguns elementos possam ser analisados é necessário que seja apresentado o perfil da turma envolvida.

4.1.1 Perfil da Turma – 1º Ano

O 1º ano do ensino médio é uma turma que possui um histórico de fraco desempenho nas atividades que são desenvolvidas. O principal elemento que se interpõe entre um processo de ensino e seu objetivo de ser significativo é a conversa excessiva entre os alunos e a distração que isso causa. Muitas vezes os tópicos trabalhados são rapidamente esquecidos pois não há muita cooperação durante o processo de ensino. A comprovação é obtida durante as avaliações formativas e processuais que apresentam pouco rendimento, independente da disciplina. Portanto foi feito um trabalho de conscientização ao longo de algumas semanas com o intuito de mostrar a importância da aplicação deste projeto com eles e como isso poderia melhorar o processo de ensino-aprendizagem.

Essa turma era composta por 17 alunos, no entanto devido ao fato de cada item da UEPS ser trabalhado em uma aula diferente, a falta de um ou mais alunos é notada.

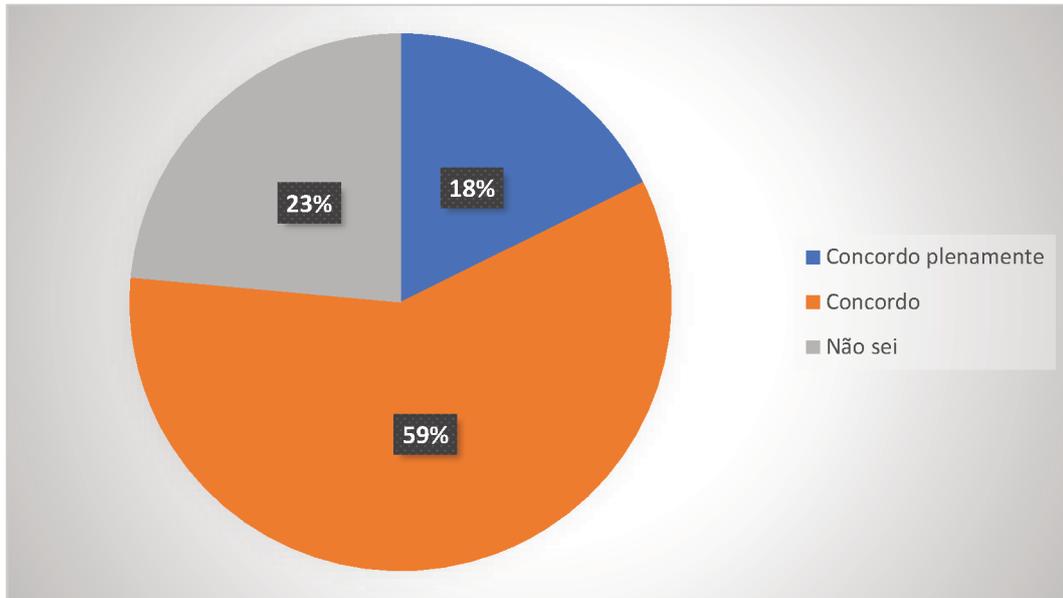
4.1.2 Aplicação

4.1.2.1 1ª Aula

No início da 1ª aula foi explicado aos alunos o que é uma UEPS, tendo isso como um ponto importante para situá-los dentro do formato de aplicação. Na sequência, foram apresentados os tópicos que serão trabalhados nas aulas futuras e os objetivos da UEPS. Pela avaliação da UEPS é possível ressaltar que este item ficou claro para a maioria dos alunos, de modo específico, o Gráfico 1 abaixo mostra que, 59% responderam que concordam com a clareza dos objetivos e 18% concordam plenamente. Infelizmente 23% não souberam opinar, o que nos leva a interpretação de que os objetivos não ficaram evidentes.

É importante ressaltar que ao concordar plenamente os alunos indicam que todos os pontos ficaram claros, porém ao opinarem com “concordo” algum elemento não foi bem esclarecido.

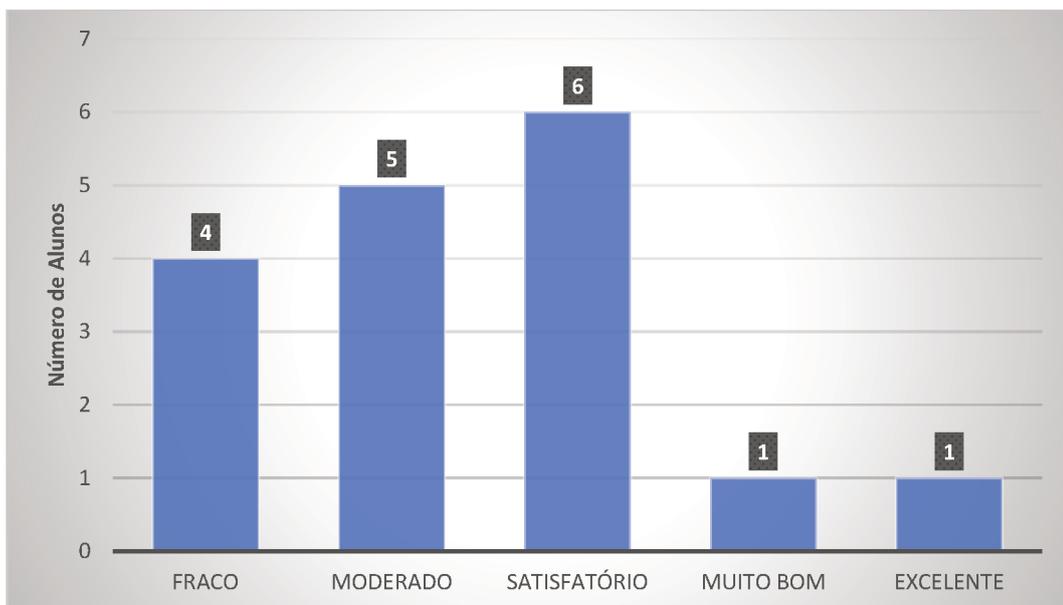
Gráfico 1 - Análise de respostas sobre a clareza na exposição dos objetivos da UEPS – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

A avaliação da UEPS também ressaltou que a maioria dos alunos possuía nenhum ou quase nenhum conhecimento sobre o assunto, conforme indica o Gráfico 2. Esse dado evidencia a necessidade e pertinência de explorar de forma mais significativa o assunto Relatividade Especial e criar vínculos com subsunçores bem estabelecidos e que talvez os alunos não saibam que há uma ligação com o tema proposto.

Gráfico 2 - Nível de Habilidade/Conhecimento no Início da UEPS – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Na situação inicial, para motivá-los a um diálogo, foi apresentado um trecho da série *The Big Bang Theory*, conforme apresentado no produto educacional. Alguns demonstraram

interesse e disseram que já haviam assistido a todos os episódios; ao passo que outros, no entanto, não expressaram nenhuma reação.

Após a apresentação do trecho da série foi destacado a eles que seria feita uma troca de ideias e que nenhuma fala estava errada, que estavam livres para expor suas opiniões acerca do assunto. Os alunos foram avisados que esta atividade seria registrada através de áudio a fim de facilitar a aquisição de informação sobre a aplicação do produto educacional. Vale destacar que as gravações não foram disponibilizadas ao público, a fim de evitar constrangimentos e exposição dos alunos, e foram utilizadas apenas como recurso de análise nessa dissertação.

Entre as falas dos alunos sobre o assunto cabe destacar que quando questionados sobre qual a velocidade da informação no vácuo, obtemos a seguintes respostas:

Aluno 1: “458 m/s”

Aluno 2: “900 m/s”

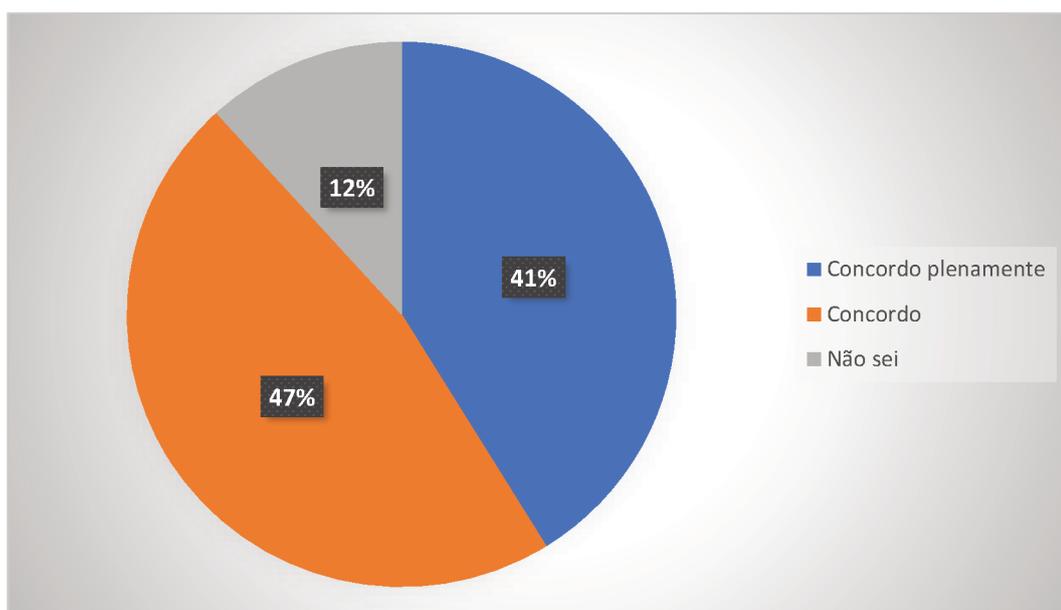
Aluno 3: “600.000 m/s”

Isso nos mostra que essa informação não é familiar para a turma, assim como, quando questionados sobre um comparativo entre as distâncias percorridas por duas naves que viajam até a Lua, sendo uma delas com $0,9c$, obtivemos que:

Aluno 1: “É a mesma distância.”

Independente dos equívocos verificados posteriormente, 41% dos alunos, na avaliação da UEPS, concordaram plenamente que as apresentações foram claras e organizadas, 47 % concordaram e 12% não souberam responder, conforme mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Nível de Clareza e Organização das apresentações da UEPS – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Quanto aos alunos, foi evidente que não houve muito empenho na tentativa de participar, em parte pelo fato de serem gravados, em parte pelo próprio perfil do grupo.

Nesse contexto, um ponto importante a destacar é que, em certos momentos da aplicação, alguns alunos foram instigados a falar e diante dessa ação, apenas falaram algo em tom de voz baixo ou começam a rir numa tentativa de disfarçar a vergonha. Talvez, um ponto a melhorar nesta atividade, seja pensar numa forma diferente de coletar os dados que não envolva gravação de áudio.

Passada a introdução da UEPS, foi iniciada a segunda situação, que envolvia uma discussão sobre o teletransporte de Star Trek. Neste caso foi apresentado um trecho da série que mostrava o teletransporte de alguns personagens.

Como o início da aula demandou alguns minutos para organização da sala e para apresentação do que é uma UEPS, esta atividade foi finalizada na 2ª aula, porém iniciou-se a discussão sobre o tema com o questionamento “Átomos ou Bits?” (Mesmo iniciada, essa discussão foi retomada na 2ª aula). Percebeu-se que a turma não expressou muito entusiasmo para falar sobre o assunto.

Uma ponderação importante a se fazer neste primeiro contato dos alunos com o formato da UEPS é: o quão relevantes se tornam as contribuições desta turma no processo como um todo, visto que há uma desmotivação e falta de interesse intrínseco nos próprios alunos? Deve-se ressaltar o perfil da turma apresentado inicialmente, pois outros educadores podem se deparar com esta situação numa aplicação futura.

4.1.2.2 2ª Aula e 3ª Aula

Novamente abordou-se o tema do teletransporte, dessa vez houve um pouco mais de interação. Entretanto, os alunos apresentam certa imaturidade, o que pode ser percebido no áudio através de brincadeiras irrelevantes durante a discussão.

A primeira discussão é sobre o que é teletransportado, átomos ou bit? Os alunos não pensam duas vezes ao responder, átomos. Mesmo tendo essa ideia em mente, foi dado início a análise pelo envio de apenas informação.

O que fazer com os átomos que permanecem dentro da nave ao enviar somente informação?

Aluno 1: “Guarda e faz uma bomba atômica.”

A resposta não foi justificada, porém talvez haja algum conhecimento intrínseco neste aluno que associa a conversão de massa em energia, e que poderá ser trabalhado ao longo da UEPS.

Infelizmente ao final desta atividade poucas informações expressas pelos alunos foram relevantes, visto que houve pouca cooperação da turma.

Após finalizar a situação iniciou-se a apresentação do conteúdo. Começando com o vídeo sobre Relatividade Especial que é apresentado no Apêndice A, onde se encontra a UEPS na íntegra. Notou-se que poucos alunos se interessaram pelo vídeo, e ao final dele o principal motivo acaba sendo exposto, o vídeo é apresentado em língua inglesa. Mesmo com legenda muitos não tendo o domínio da língua se perderam entre tentar acompanhar o vídeo e ler a legenda. O alerta veio dos próprios alunos quando fizeram a seguinte indagação:

Aluno 1: “Professor por que você não gravou o vídeo em português? Iria ser mais legal ver você.”

Foi conversado com eles para que não se preocupassem pois seria trabalhado cada um dos tópicos apresentados no vídeo de forma individual e que qualquer dúvida que houvesse eles poderiam fazer questionamentos ao longo do percurso.

Foram ressaltados alguns pontos importantes do vídeo.

Dando continuidade à apresentação dos conteúdos, foi discutido sobre a Relatividade Galileana e a Relatividade de Einstein. Nesta parte foi apresentado aos alunos a definição de o que é relatividade, realizando uma transposição didática do que é apresentado por Halliday, Resnick e Walker (2007) no livro Fundamentos de Física, v.4, no geral as falas realizadas foram baseadas na sequência lógica apresentada nesta obra.

Depois foi discutido sobre a validade de cada uma das ideias apresentadas e ressaltado aos alunos que uma ideia não anula a outra, porém se complementam. Foi importante apresentar aos alunos os postulados usados por Einstein em sua relatividade, principalmente enfatizando o postulado da velocidade da luz e apresentando definitivamente o valor desta velocidade, visto que isso foi tema de algumas trocas de ideias na situação inicial.

Para fechar este primeiro diálogo sobre o conteúdo, falamos sobre simultaneidade e o fato de que ela não é um conceito absoluto e sim um conceito relativo, que depende do movimento do observador.

Ao longo da apresentação do conteúdo foram feitos links com o vídeo inicial e utilizado alguns exemplos, principalmente durante a fala de simultaneidade, com o intuito de tornar o processo de ensino significativo.

4.1.2.3 4ª Aula e 5ª Aula

Para dar início a estas aulas resumiu-se o que havia sido visto até o momento para então dar sequência na apresentação dos conteúdos.

O dia foi dedicado à explanação sobre a dilatação temporal e a contração do espaço. Sobre a dilatação temporal, iniciou-se apresentando na lousa a situação do paradoxo de gêmeos conforme o vídeo no qual esta atividade está baseada (vide Apêndice A). Como esperado, o fato de o tempo passar de formas diferentes para dois referenciais não é nada trivial para os alunos e isso os deixou curiosos. Fizeram alguns questionamentos sobre qual das perspectivas estava correta no caso do paradoxo de gêmeos, pois na concepção deles poderíamos considerar que num determinado referencial o gêmeo na Terra estaria mais velho e em outra estaria mais jovem. Foi esclarecido que se colocássemos um terceiro observador na nossa análise ele concluiria que o gêmeo na nave estaria sujeito a aceleração e desaceleração.

Após a introdução com o paradoxo, foi apresentado formalmente a equação da dilatação temporal deixando claro o que seria o tempo próprio e usando o vídeo introdutório da Relatividade Especial como exemplo.

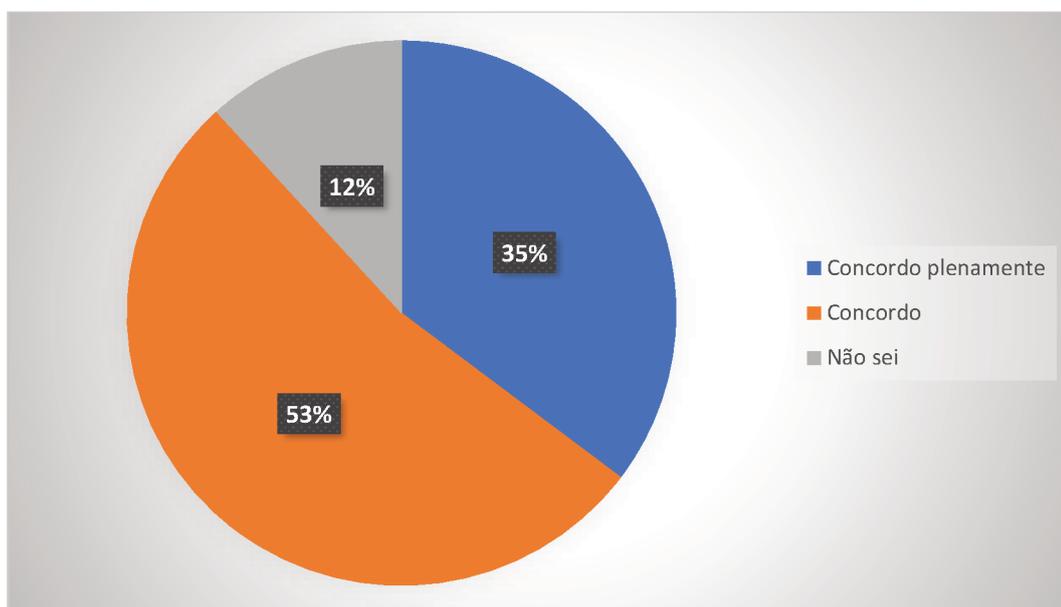
Partiu-se então para a contração do comprimento, outro tópico nada trivial para os alunos. Antes da apresentação da fórmula foi questionado aos alunos se acreditavam que essa contração era real ou apenas uma ilusão. Numa totalidade responderam que era uma ilusão, haja visto que, como ressaltado anteriormente, trata-se de uma situação nada trivial. Foi comentado com eles que a realidade física se baseia em observações e medidas; se os resultados obtidos são lógicos e nenhuma falha foi cometida, o que é observado e medido é real, ou seja, um corpo em movimento realmente se contrai. Destacou-se que essa contração ocorre no sentido do movimento.

Após apresentar a fórmula da contração e definir o comprimento próprio, os alunos foram questionados na expectativa de que tivessem captado a mensagem intrínseca na explicação: “Por que não observamos a contração, por exemplo, de um carro, no nosso dia a dia?”. Para grata surpresa alguns deles responderam, com suas palavras, que “não podemos ver ele ficar menor porque ele se move muito devagar”.

Ao iniciar a atividade da Viagem dos Múons, os alunos apresentaram dificuldades de interpretação, mesmo a atividade sendo um roteiro extremamente detalhado. Foi feita a leitura com a turma na tentativa de colocá-los no caminho e isso ajudou. Foi feito o acompanhamento com os pequenos grupos que se formaram para ouvir suas dúvidas e dar algumas dicas como *feedback*. Esse tipo de ação foi importante para os alunos visto que, na Avaliação da UEPS,

35% concordaram plenamente e 53% concordaram com a atitude prestativa do professor, conforme indica o Gráfico 4.

Gráfico 4 - O Professor foi Acessível e Prestativo – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

A atividade não foi finalizada pois o tempo de aula se esgotou. Observou-se que maioria se sentiu mais à vontade para questionar no momento da atividade quando expuseram suas dúvidas somente para o professor e pelo fato de que é no momento de exercitar o conhecimento que as dúvidas surgem. Apesar de tudo, a expectativa para essa atividade era maior por parte do professor, porém como já citado em outros pontos desse relato, o perfil da turma não colaborou muito.

A versão da UEPS aplicada na 1ª Etapa possuía apenas 4 aulas, e como é possível perceber, o planejamento desta UEPS já foi ultrapassado. Como havia disposição de tempo para trabalhar ficou estabelecido que independente do tempo que demorasse a aplicação, ela deveria ser feita calmamente para que no final o processo fosse significativo.

4.1.2.4 6ª Aula

Nesta aula foi dada continuidade a atividade sobre os múons. Novamente os alunos apresentaram um pouco de dificuldade na parte matemática. Utilizando a mesma didática da aula anterior, cada pequeno grupo foi acompanhado durante a resolução. A análise posterior desta atividade mostrou que alguns alunos conseguiram resultados satisfatórios, apresentando valores dentro do esperado. Porém todos alunos erraram o 7º passo, o qual era responsável por

extrair a informação acerca da interpretação dos dados quando considerado Física Clássica e Relatividade Especial. A falta de interesse já reconhecida pelos próprios alunos pode ter sido extremamente significativa na obtenção dos resultados, como mostram os resultados da Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 1º Ano

| PASSOS | | ACERTO TOTAL | ACERTO PARCIAL | ERRO |
|--------|--|--------------|----------------|------|
| 1º | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 7 | 7 | 0 |
| 2º | Número de partículas que chegam à superfície considerando a Mecânica Clássica. | 9 | 5 | 0 |
| 3º | Conclusão obtida com o 2º passo. | 5 | 7 | 2 |
| 4º | Vida média do múon considerando a Relatividade Especial. | 8 | 5 | 1 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a vida média dilatada. | 11 | 2 | 1 |
| 5º | Conclusão obtida no comparativo entre o 2º e 4º passos. | 0 | 4 | 10 |
| 6º | Determinação do comprimento comprimido percorrido pelo múon. | 6 | 5 | 3 |
| | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 0 | 8 | 6 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a contração do comprimento. | 0 | 0 | 14 |
| 7º | Conclusões obtidas no desenvolvimento do roteiro. | 0 | 0 | 14 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Partiu-se para o último tópico de apresentação dos conteúdos onde foi abordado a relação entre massa e energia culminando na apresentação da fórmula $E = m \cdot c^2$ aos alunos. Prontamente alguns disseram já ter visto a fórmula em algum lugar, inclusive alguns alunos já haviam expressado esse conhecimento quando apresentados os tópicos desta UEPS. Explicou-se aos alunos que esta fórmula trata da energia de repouso e que ao considerarmos um corpo com certa velocidade em relação a um referencial teremos a influência do momento, sendo assim esta fórmula deverá ser readaptada.

Apresentou-se a reportagem da revista *Época* onde os cientistas tentam uma forma de colidir fótons e obter a partir dessa colisão massa. Discutiu-se também sobre a “perda” de massa durante um processo de fissão nuclear e a liberação de energia neste processo. Foram lembradas algumas falas da atividade sobre o teletransporte de *Star Trek*. Esse assunto despertou um pouco mais de interesse dos alunos, principalmente por causa do teletransporte e o fato de esse assunto estar relacionado as bombas nucleares.

Após a finalização dos conteúdos foi iniciada a atividade sobre viagem no tempo. Afim de motivar o grupo foi apresentado um trecho do filme *De Volta para o Futuro* e posteriormente

foi realizada a leitura em grupo do texto de apoio. A escrita do texto foi adiada para a aula seguinte.

4.1.2.5 7ª Aula

Os alunos foram divididos em grupos de 4 integrantes para que discutissem os questionamentos que deveriam ser respondidos no texto sobre a viagem no tempo. Ao final da atividade os textos foram entregues para o professor avaliar. Solicitou-se que um membro de cada grupo socializasse algum tópico chave do texto elaborado por eles. A expectativa era de um desempenho um pouco melhor do grupo.

Para finalizar a parte presencial da UEPS, os alunos realizaram a Avaliação Somativa Individual. A avaliação foi analisada de forma a verificar se o aluno conseguiu desenvolver a questão dentro de suas potencialidades e limitações. Buscou-se também analisar se houve contextualização por parte dos alunos e algum elemento que tenha sido significativo. Sendo assim, é possível verificar que, de acordo com a Tabela 5, dos 16 alunos que participaram da avaliação, a maioria apresentou dificuldade na questão 1, onde solicita-se um comparativo entre Relatividade Galileana e Relatividade Especial, na questão 2, que abrange um análise da simultaneidade dos eventos, e na questão 5b, que solicita uma análise da energia liberada no processo de fissão quando comparado a à energia liberada pelo TNT.

Estes resultados indicam uma necessidade de revisão das argumentações e uma necessidade de exemplificação que torne o aprendizado destes tópicos mais significativo. Esse ponto deverá ser verificado no processo de validação da Etapa 1.

Tabela 5 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 1º Ano

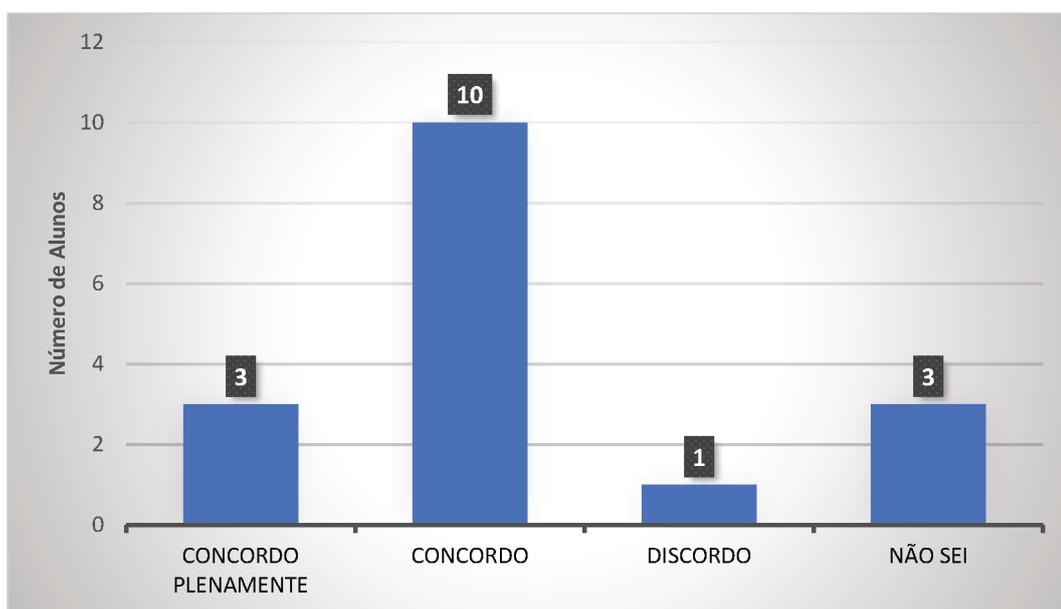
| QUESTÃO | DESENVOLVIDA | NÃO DESENVOLVIDA |
|----------|--------------|------------------|
| 1 | 7 | 9 |
| 2 | 4 | 12 |
| 3 | 15 | 1 |
| 4 | 10 | 6 |
| 5 | a | 6 |
| | b | 9 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao final foi questionado a turma sobre as maiores dificuldades que tiveram nessa avaliação, a maioria teve problemas com a parte matemática, porém a interpretação foi outro ponto que se notou como dificuldade pois alguns alunos solicitaram ajuda do professor para entender as questões. Nestes casos de interpretação fizemos a leitura da questão destacando o que ela estava solicitando. É perceptível que os alunos não têm o hábito de fazer a leitura

completa do enunciado e que ler a questão com eles se torna esclarecedor. Na Avaliação da UEPS, conforme o que é apresentado pelo Gráfico 5, felizmente a maioria dos alunos declarou que a avaliação formativa individual ofereceu situações que possibilitaram o acesso aos conteúdos abordados ao longo da UEPS, ou seja, a avaliação formativa teve seu objetivo atingido visto que retornou aos alunos situações com contextualizações plausíveis ao tema, apesar de não terem obtido um bom desempenho.

Gráfico 5 – A Avaliação Formativa Individual forneceu situações contextualizadas que permitiram o acesso aos conteúdos abordados ao longo da UEPS – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Ao final foi solicitado a todos que acessassem em casa o link da Avaliação da UEPS que seria enviado por e-mail. Foi ressaltada a importância deste item para o processo de validação da sequência.

4.1.3 Processo de Validação

Para a 2ª Etapa de aplicação da UEPS ocorrem algumas modificações na sequência levando em consideração os comentários que ocorreram em sala, os resultados da aplicação e a própria avaliação da sequência realizada pelos alunos na 1ª Etapa.

Na Avaliação da UEPS os alunos são questionados sobre “Quais aspectos foram mais úteis e valiosos?” sendo que os comentários mais relevantes, que justificam as alterações ou consolidações das atividades da UEPS, são apresentados abaixo:

Aluno 1: “A interação com os alunos.”

Aluno 2: “Os exercícios, relacionando "histórias" para uma melhor interpretação.”

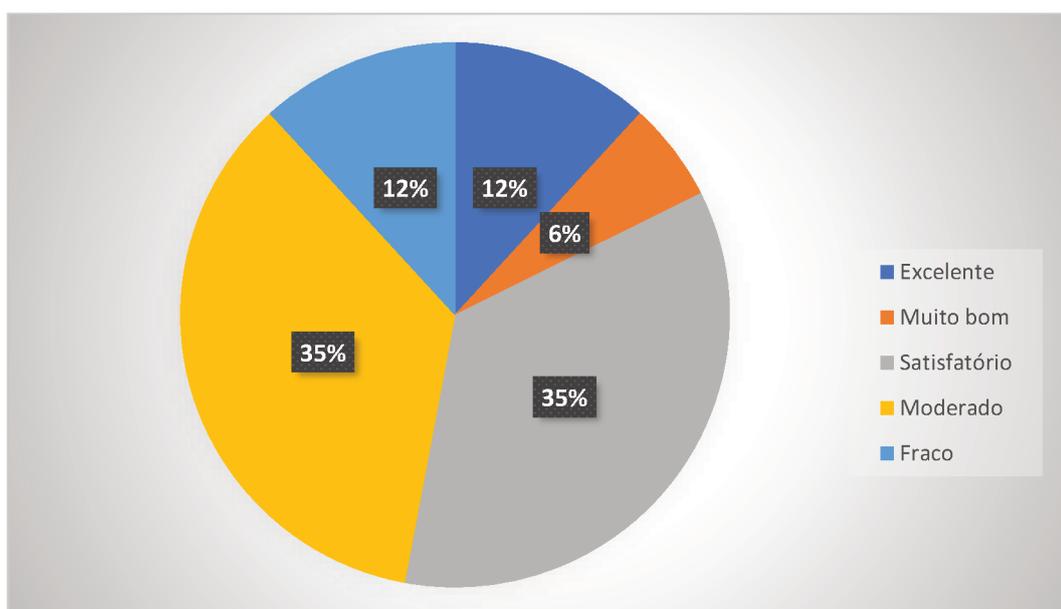
Aluno 3: “Na minha opinião, não muita coisa, já que eu não sou muito bom em Física e não planejo em trabalhar com isso no futuro.”

Aluno 4: “Achei muito bem explicativa, só achei os cálculos muito difícil.”

Estes comentários nos mostram que apesar de a interação professor-aluno-materiais educativos terem sido valiosas do ponto de vista dos alunos, temos dois pontos que demandam atenção, o interesse dos alunos pelo assunto e a dificuldade com as resoluções matemáticas.

Quanto ao interesse pelo assunto, podemos avaliar o Gráfico 6 no qual são apresentados os níveis de interesse expressos pelos alunos na Avaliação da UEPS, onde uma grande porcentagem classifica seu interesse pelo assunto como sendo fraco (12%) e moderado (35%), isso nos leva a analisar os dados obtidos com cautela para que o processo de validação possa provocar modificações expressivas nesses aspectos.

Gráfico 6 - Nível de Interesse do Aluno pelo Assunto – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Questionados sobre “Qual melhoria você gostaria de ver nesta UEPS que facilitaria seu processo de aprendizagem?” obtivemos os seguintes comentários:

Aluno1: “Com mais vídeos explicando.”

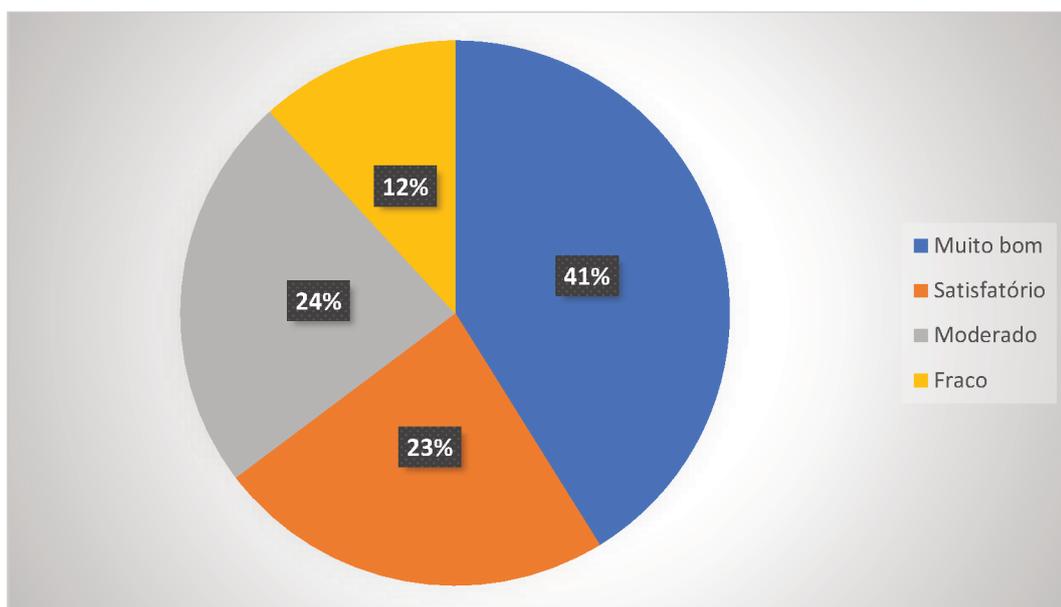
Aluno 2: “Ensinando mais fácil.”

Aluno 3: “Tendo mais dados e textos diretos.”

Deve-se tomar cuidado para que mesmo considerando os comentários dos alunos, o processo de validação não transforme a UEPS em uma sequência de ensino tradicional.

Ainda na Avaliação da UEPS, 41% dos alunos alegou que considerou o nível de exigência para concluir a sequência como muito bom e 23% como satisfatório (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Nível de Habilidade/Conhecimento exigido para concluir a UEPS – 1º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Tendo em vista todos os dados coletados, foram realizadas algumas modificações, sendo elas:

- Adotar uma linguagem mais simples, mais próximo da realidade dos alunos, sem que o aspecto físico perdesse o sentido.
- Inserir mais momentos de interações entre os alunos, principalmente durante a realização das atividades.
- Contextualizar melhor em cada uma das explicações, visto que isso torna o processo de ensino significativo.
- Apresentar formas de raciocínio lógico que facilitariam a resolução dos cálculos.
- Inserir mais animações e vídeos.
- Substituição do nome da Situação Inicial de “Tempestade Cerebral” para “Sondagem de Subsunoçores” e a troca da forma de registro, de áudio para registro escrito.
- Solicitar que os alunos assistam ao vídeo introdutório da apresentação dos conteúdos em casa e que respondam a um questionário, permitindo assim que possam assistir com calma e quantas vezes forem necessárias. Essa ação faz com que subsunoçores sejam estabelecidos para a continuação da sequência.

- Substituir a atividade sobre Viagem no Tempo, que solicitava um texto, pela atividade sobre Fissão Nuclear, onde os alunos trabalhariam com planilhas utilizando dados obtidos através de uma animação.
- Aumento do número de aulas de 4 para 7.
- Apresentação da Avaliação da Aprendizagem através de elementos qualitativos e quantitativos.

Com essas modificações espera-se que o nível exigido para concluir a UEPS seja considerado de satisfatório para muito bom para a maioria dos alunos.

4.2 REGISTRO DE AULA – 2ª ETAPA

Após realizar as modificações citadas anteriormente, foi iniciada a aplicação da 2ª Etapa. Nesta etapa tivemos a aplicação simultânea para turmas de 2º e 3º anos.

Após a realização da Avaliação da UEPS, um novo processo de validação ocorreu para aperfeiçoar os detalhes necessários.

4.2.1 Perfil da Turma – 2ª Ano

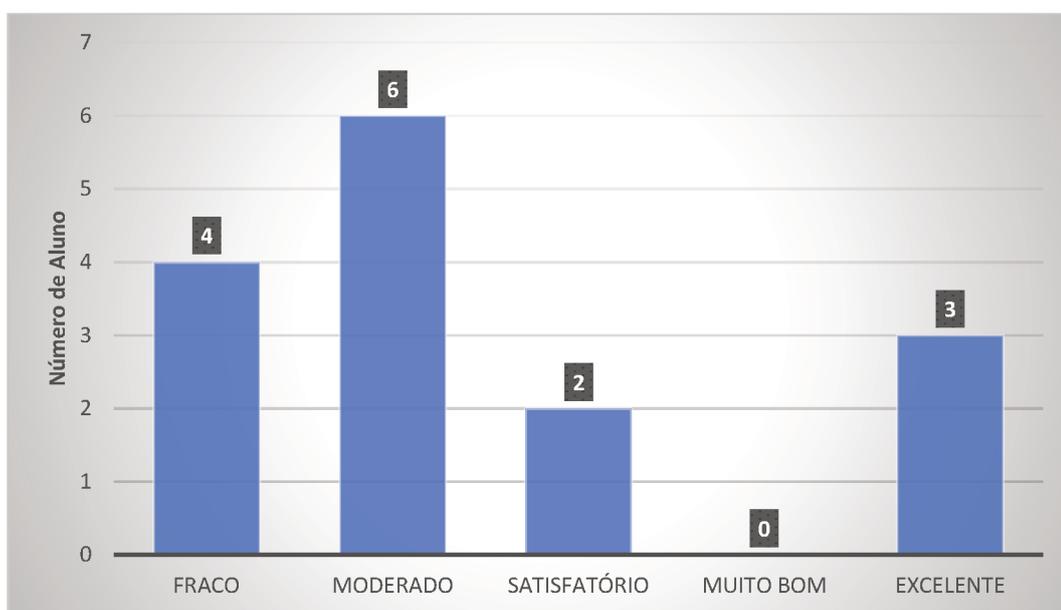
A turma de 2º ano possui um perfil mais interativo quando comparado ao perfil apresentado pela turma de 1º ano. Normalmente são interessados e curiosos acerca de fenômenos físicos, porém, obviamente, não existe uma homogeneidade nestas informações pois há aqueles que apresentam aptidões para outras áreas do conhecimento.

No geral é possível instigá-los com maior facilidade e o desempenho deles é melhor, sendo que essas informações são verificadas nas avaliações formativas e processuais realizadas na escola.

Essa turma era composta por 15 alunos, no entanto devido ao fato de cada item da UEPS ser trabalhado em uma aula diferente, a falta de um ou mais alunos é notada.

Outro dado importante relacionado a turma está no nível de conhecimento relacionado a Relatividade Especial que eles possuíam ao iniciar a UEPS (Gráfico 8), lembrando que esta é uma autoavaliação obtida pela Avaliação da UEPS .

Gráfico 8 - Nível de Habilidade/Conhecimento no Início da UEPS – 2º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

4.2.2 Aplicação

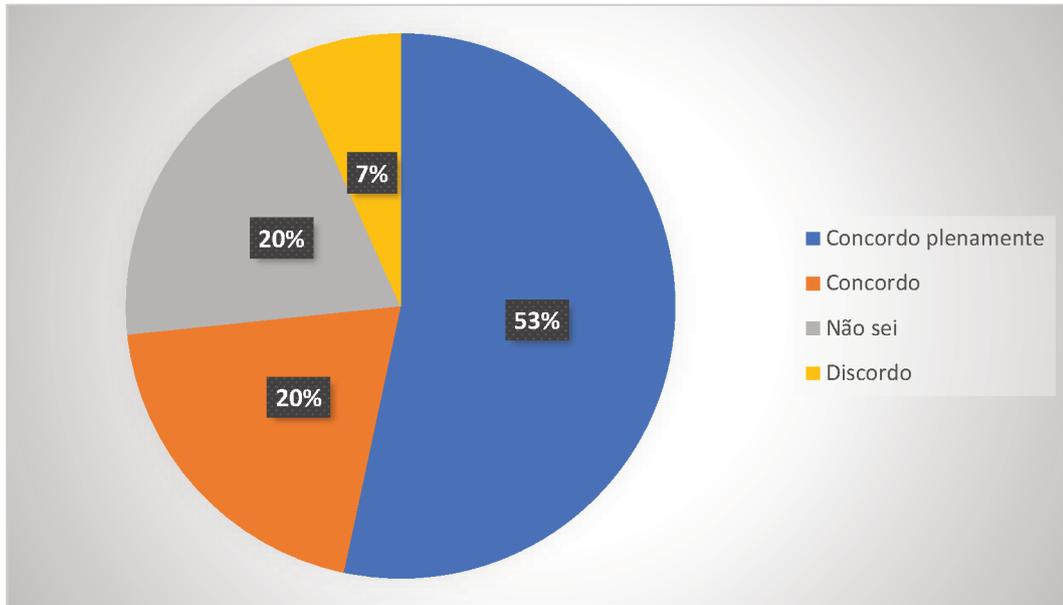
4.2.2.1 1ª Aula

O início da aplicação foi esperado pela turma, pois eles já haviam sido comunicados sobre o projeto anteriormente. Então para que ficassem situados acerca da metodologia adotada, foi realizada a apresentação sobre o que é uma UEPS, quais os elementos que a compõe e enfatizado principalmente a forma de avaliação.

Foram apresentados também os objetivos e os conteúdos que seriam trabalhados antes de partirmos para a situação inicial onde realizamos uma sondagem de subsunçores.

A clareza dos objetivos é essencial para que os alunos possam compreender que ponto pretendemos alcançar. Segundo o Gráfico 9 obtido com os dados da Avaliação da UEPS este passo foi bem executado. Os dados mostram que 20% dos alunos não souberam opinar, um indicativo de que não compreenderam a proposta da UEPS.

Gráfico 9 - Análise de respostas sobre a clareza na exposição dos objetivos da UEPS – 2º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Iniciando a sondagem de subsunçores, os alunos foram instigados a assistir a um trecho da série *The Big Bang Theory*, para então, de forma individual responderem ao questionário proposto. Deixou-se claro aos alunos que esta atividade não exigia uma resposta correta pois nosso objetivo era verificar os conhecimentos que os alunos possuíam antes de partirmos para os próximos tópicos. Como foi realizada a apresentação da UEPS, os alunos já estavam familiarizados com o que seriam subsunçores e sua importância para nossa sequência.

Algumas respostas obtidas com os alunos foram as seguintes:

(1) Qual a maior velocidade que se conhece na atualidade?

Aluno 1

A velocidade da luz hoje em dia, nos meus conhecimentos, é a mais rápida.

Aluno 2

Velocidade da luz

Aluno 3

A VELOCIDADE DA LUZ

Conclusão: A maioria dos alunos possui o conhecimento acerca de a velocidade da luz ser superior as demais velocidades, o que facilita a introdução dos postulados de Einstein.

Um ponto a se verificar ao longo da apresentação do conteúdo é que esta velocidade é independente do referencial inercial adotado.

(2) Qual a velocidade de propagação da informação no vácuo?

Aluno 1

$3 \cdot 10^8$ m/s

Aluno 2

300.000 km/s

Aluno 3

325 km/s

Conclusão: De 14 participantes da atividade, 12 alunos expressaram corretamente o valor, seja em m/s ou em km/s. Porém 2 informaram valores incorretos, sendo o Aluno 3 um deles.

(3) Existe na natureza algo que possua uma velocidade superior à da luz?

Aluno 1

(1) Buraco Negro

Aluno 2

Não. A velocidade da luz é o último grau da velocidade, até hoje.

Conclusão: Pelo fato de já possuírem o conhecimento de que a velocidade da luz é a maior velocidade na atualidade, isso reflete nas respostas da questão 3. Porém apenas um aluno alegou ser o buraco negro, talvez pelo fato de este tópico ter ganhado destaque nos últimos tempos.

(4) É possível estimar a distância até a Lua considerando o tempo apresentado no vídeo e a velocidade da luz? Se sim, calcule a distância.

Aluno 1

$$300000 \text{ km/s}$$

$$\downarrow$$

$$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

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

$$3 \cdot 10^8 = \frac{\Delta s}{2,5}$$

$$\Delta s = 750000000 \Rightarrow \boxed{\Delta s = 7,5 \cdot 10^8}$$

Aluno 2

$$\text{Sim, } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$3 \cdot 10^8 = \frac{\Delta s}{2,5}$$

$$3 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-1} = \Delta s$$

$$\Delta s = 7,5 \cdot 10^7$$

Aluno 3

v · t

$$t = 2,5$$

$$\begin{array}{r} 300000 \\ \times 2,5 \\ \hline 1500000 \\ 600000 \\ \hline 7500000 \end{array}$$

750000 km

Conclusão: Os alunos conseguiram calcular a distância, tendo o tempo apresentado no vídeo, porém não tiveram o cuidado de perceber que o tempo apresentado era de ida e volta, portanto o valor esperado era $3,75 \cdot 10^8$ m.

(5) A velocidade média de um foguete A em direção a Lua é de cerca de 28.440 km/h e de um foguete B é de 90% a velocidade da luz. Considerando estes dados, a distância medida pelos pilotos será a mesma para os dois foguetes? Justifique

Aluno 1

Sim, a distância não mudaria

Aluno 2

Sim, pois eles vão chegar ao mesmo destino, embora tenham velocidades diferentes

Aluno 3

NÃO, O FOGUETE B VAI MÉDIA UMA DISTÂNCIA MENOR POR CAUSA DA VELOCIDADE.

Conclusão: A maioria dos alunos expressou que a distância seria a mesma, ou que mudaria, porém justificaram de forma incorreta, sendo que o aluno 3 foi o único que apresentou uma justificativa plausível. Essa informação demonstra que a contração do comprimento não é familiar aos alunos.

Utilizando as respostas apresentadas foi possível realizar as devidas correções para que posteriormente estes conhecimentos fossem lapidados.

4.2.2.2 2ª Aula

Nesta aula abordou-se a situação problema referente ao teletransporte utilizado em *Star Trek* e os pontos nos quais Física e ficção se encontram. O registro desta atividade ocorreu através de áudio, porém é perceptível certa timidez dos alunos ao serem gravados.

Para situá-los foi feita uma breve explicação sobre o motivo que levou o criador da série a criar o teletransporte, sendo este a dificuldade de pousar uma nave gigantesca nos mais diversos planetas.

Ao serem questionados sobre o que é movido com o teletransporte, um aluno é direto ao dizer:

Aluno 1: “A informação.”

Este mesmo aluno complementa sua resposta com a seguinte fala:

Aluno 1: “A pessoa de verdade ela morre, quem está lá é uma cópia.”

Aproveitando o momento foi questionado ao aluno se ele já havia assistido algum episódio da série e se ao assistir observou que durante o teletransporte havia um corpo que permanecia na nave.

Aluno 1: “Mas eles destroem o corpo.”

Foi solicitado ao aluno que ele mantivesse essa ideia em mente para que pudéssemos recuperá-la logo a frente e continuamos a conversa tendo em mente então apenas o envio de informação.

Exemplificamos a importância da informação ao citar um exemplo entre um livro físico e um livro digital. Nesta analogia, foi apresentado aos alunos o seguinte, se possuímos um exemplar de um livro em uma biblioteca física somente um dos alunos poderia acessá-lo em contrapartida um livro disponibilizado em uma biblioteca virtual poderia ser acessado por vários alunos ao mesmo tempo. Apesar de algumas brincadeiras ficou claro para os alunos que ter um arquivo digital, nesta situação, é mais importante.

Retornando ao questionamento de o que fazer com os átomos com o envio de apenas informação e um dos alunos sugere:

Aluno 1: “Vamos deixar em uma caixinha.”

Tudo bem, podemos considerar esta ideia por um momento, e então como conseguir átomos no local de destino para que toda a informação possa ser utilizada na montagem de um novo ser humano? E ao retornar para a nave, deixaremos mais um amontoado de átomos em uma caixinha? Os alunos não se manifestaram acerca destes questionamentos, porém entendendo esta falta de expressão como uma forma de mostrar que realmente não se sabe o que fazer nessa situação. Esta é uma das implicações do envio de apenas informação.

Neste momento é onde é abordado o funcionamento do teletransporte segundo o manual técnico da série. Então, de acordo com o manual, há o envio de matéria. Ao questionar os alunos se algum deles assiste a série obtenho uma resposta negativa. É ressaltado que a própria série comete equívocos, pois se há o envio de matéria, como é possível que pelo teletransporte um ser humano seja replicado? Um aluno acredita que é possível, porém não possuía argumentos para explicar essa opinião. Então falamos sobre a conservação de massa.

Retrocedendo ao exemplo dos livros físico e digitais, e questionando a turma sobre o que seria mais importante quando se trata de um ser humano, um aluno expressa o seguinte:

Aluno 1: “Sem a matéria não temos informação.”

Felizmente chegou-se a esta ideia, precisamos de matéria. Porém como transformar essa matéria em energia para que seja levada de um ponto a outro através do espaço? O que podemos fazer para decompor esta matéria?

Aluno 1: “Queimar.”

Esta foi a sugestão de um dos alunos. Aproveitando essa fala, foi questionado o seguinte, queimar algo implica fornecer o que a ela?

Aluno 1: “Energia. Muita Energia.”

E eles estavam corretos, a demanda de energia para o processo de conversão matéria-energia é extremamente alta, em torno de 10% do valor total produzido na conversão. Mas qual seria esse valor total? A resposta está na fórmula de Einstein, onde $E = m \cdot c^2$. Quando questionados sobre a fórmula, a maioria da turma afirmou que já havia visto ou ouvido falar sobre ela.

Voltando ao valor total, foi apresentado o equivalente para um ser humano de 50kg e ao mesmo tempo, para que pudessem criar um comparativo, relacionado o valor com a bomba atômica *Fat Man*. Muito expressaram surpresa.

Para encerrar a atividade falamos sobre a possibilidade de teletransporte na realidade e todos acreditavam que não era possível. Para argumentar sobre isso foi apresentado um trecho de uma reportagem sobre o assunto onde cientistas conseguiram reproduzir um fóton e que este era apenas um pequeno passo rumo a essa tecnologia que nos fascina na ficção científica.

Antes de serem dispensados, foi solicitado aos alunos que assistissem ao vídeo introdutório da apresentação do conteúdo que ocorreria na aula seguinte.

4.2.2.3 3ª Aula e 4ª Aula

Iniciou-se a apresentação dos conteúdos. Os alunos fazem a entrega dos questionários e algumas falas são realizados para saber se os alunos conseguiram absorver informações provenientes do vídeo introdutório. Como esperado alguns alegaram que não entenderam direito o assunto, mesmo assistindo mais de uma vez, porém isso já era esperado. Eles foram tranquilizados ao afirmar que todos os elementos vistos no vídeo seriam trabalhados ao longo da apresentação do conteúdo.

Utilizando como suporte os slides disponíveis na UEPS, começou-se falando sobre a relatividade de Galileu e a relatividade de Einstein, foi lembrado sobre o que é um referencial inercial para então se verificar a validade de cada uma das relatividades trabalhadas. Neste momento foi importante destacar aos alunos que as duas ideias são válidas e que uma não anula a outra. Aproveitando o momento as duas “Nuvens de Kelvin²” foram citadas e que atrás de uma destas nuvens se encontrava a relatividade.

Partiu-se para a análise da simultaneidade e antes de se apresentar a simulação que estava disponível no material da UEPS, foram colocados alguns alunos em pontos diferentes da sala para que observassem o movimento de um outro aluno, assim cada um descreveu o que viu, porém, as descrições foram diferentes. Quando questionados sobre quem estava certo, não houve um consenso. O objetivo era incutir a ideia de que observadores em referenciais diferentes dificilmente irão concordar sobre a ocorrência de um evento. Sendo assim foi possível apresentar a simulação e fazer uma ligação com a situação apresentada no vídeo introdutório, já que este deveria servir de subsunção neste processo.

O tempo de aplicação foi extrapolado quando a dilatação temporal acabou sendo trabalhada na 4ª Aula.

² As “Nuvens de Kelvin” tratavam da existência ou não do éter luminífero e da radiação de corpo negro, assuntos que foram posteriormente bem explicados pela Teoria da Relatividade e pela Física Quântica.

Antes de ser feita a apresentação da dilatação temporal, desenvolvemos na sala a lógica por trás do aparente paradoxo dos gêmeos. Neste ponto foi essencial apresentar aos alunos que as rotações de tempo desenvolvida são na realidade as transformações de Lorentz e que elas são o caminho para chegar à dilatação temporal e posteriormente, na contração do comprimento.

Esse assunto deixou os alunos um pouco em dúvida, pois o tempo dilatado não é algo que eles observam em seus cotidianos. Utilizando a equação de dilatação temporal, foi analisado o movimento de um carro a 60m/s, assim verificou-se que a baixas velocidades a dilatação é imperceptível, sendo que o tempo próprio e o tempo dilatado eram basicamente iguais.

4.2.2.4 5ª Aula e 6ª Aula

Novamente as transformações de Lorentz se fazem presente na análise da contração do comprimento, outro assunto que não é nada trivial para os alunos. Neste momento é enfatizado a turma que a contração é real e que como eles viram no vídeo introdutório, para um veículo que se move a 150km/h, essa contração é da ordem de picômetros. Sempre que possível voltamos a alguma informação apresentada no vídeo introdutório para utilizá-la como subsunçor, o que possibilita que a aprendizagem seja significativa.

Após a explanação os alunos iniciaram a atividade referente à viagem dos múons. Alguns apresentaram dificuldade na parte matemática, porém com algumas dicas conseguiram desenvolver sem mais problemas. Os resultados obtidos foram positivos, visto o que é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 2º Ano

| PASSOS | | ACERTO TOTAL | ACERTO PARCIAL | ERRO |
|--------|--|--------------|----------------|------|
| 1º | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 13 | 0 | 0 |
| 2º | Número de partículas que chegam à superfície considerando a Mecânica Clássica. | 9 | 0 | 4 |
| 3º | Conclusão obtida com o 2º passo. | 9 | 1 | 3 |
| 4º | Vida média do múon considerando a Relatividade Especial. | 12 | 1 | 0 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a vida média dilatada. | 12 | 0 | 1 |
| 5º | Conclusão obtida no comparativo entre o 2º e 4º passos. | 10 | 1 | 2 |
| 6º | Determinação do comprimento comprimido percorrido pelo múon. | 12 | 1 | 0 |
| | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 7 | 1 | 5 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a contração do comprimento. | 9 | 1 | 3 |
| 7º | Conclusões obtidas no desenvolvimento do roteiro. | 4 | 9 | 0 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao realizar um breve comparativo dos resultados obtidos com a turma do 2º Ano em relação ao 1º Ano, tem-se que há um saldo positivo nos resultados, principalmente no 7º passo, onde os alunos deveriam expressar se esse processo foi significativo. Os acertos parciais são um indicativo de que alguns elementos do processo foram interiorizados o que permitiu o acesso do conteúdo através de subsunções.

Finalizando a atividade sobre a viagem dos múons iniciou-se a discussão sobre a energia relativística, para isso foi retomada a situação do teletransporte e suas implicações. Quando o assunto foi abordado havia o problema de transformar matéria em energia e agora olhando por outro ângulo analisou-se a transformação de energia em matéria através da reportagem disponível na UEPS. Foi destacado aos alunos que a equivalência entre massa e energia se dá através de uma constante de proporcionalidade, que é o quadrado da velocidade da luz (para objetos em repouso).

Além da conversão de um ser humano, que foi citada na situação do teletransporte, foi apresentado aos alunos o objeto de aprendizagem que está disponível na UEPS, o qual mostra a equivalência da energia produzida pela conversão de alguns itens, a inclusão deste objeto na UEPS ocorreu pelo processo de validação da 1ª Etapa.

4.2.2.5 7ª Aula e 8ª Aula

A 7ª Aula foi destinada à análise de uma nova situação-problema, onde o elemento norteador era a energia relativística. Os alunos analisaram a conversão de massa em energia para um processo de fissão nuclear e realizaram um comparativo com a produção de energia proveniente da queima do carvão. Para essa análise fizeram uso de planilhas como ferramenta tecnológica. Alguns apresentaram dificuldades, porém foi feito o acompanhamento com os pequenos grupos de 4 alunos que se formaram e ajudado na interpretação dos comandos.

Os alunos apresentaram resultados e conclusões coerentes, tais resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da Atividade "Fissão Nuclear" – 2º Ano

| PASSOS | ACERTO TOTAL | ACERTO PARCIAL | ERRO |
|---|--------------|----------------|------|
| Equacionar as reações nucleares. | 12 | 3 | 0 |
| Determinar a energia liberada na queima de 1kg de carvão. | 14 | 1 | 0 |
| Determinar a energia liberada na fissão de 1kg de Urânio. | 12 | 0 | 3 |
| Determinar a massa de urânio necessária para liberar a energia equivalente a queima de 1kg de carvão. | 11 | 0 | 4 |
| Comparação e conclusão acerca dos dados obtidos. | 8 | 7 | 0 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados obtidos demonstram que o desenvolvimento matemático da determinação de energia foi um bem-sucedido. Já na comparação de valores e conclusão os alunos acabaram deixando de lado algumas informações tendo em vista o número de acertos parciais.

A atividade proporcionou aos alunos a possibilidade de trabalhar com planilhas, sendo que é apresentado abaixo as planilhas desenvolvidas por um dos grupos (Tabela 8). O desenvolvimento das planilhas evidenciou aos alunos a grande quantidade de energia obtida pela pequena variação de massa ocorrida ao longo do processo de fissão nuclear, um resultado direto da aplicação da equação de conversão massa-energia apresentada por Einstein.

Tabela 8 – Atividade “Fissão Nuclear” – Material Desenvolvido pelo Grupo – 2º Ano

| Reação | Reagentes | | Produtos | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Kr | Ba | n |
| Nº de mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 9,3934E+01 | 1,3891E+02 | 1,0087E+00 |
| Massa Total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 9,3934E+01 | 1,3891E+02 | 3,0260E+00 |
| Massa (Kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 1,5598E-25 | 2,3066E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa Total (u) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição de massa (Kg) | -3,0499E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia Liberada (J) | -2,7411E-11 | | | | |

| Reação | Reagentes | | Produtos | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Kr | Ba | n |
| Nº de mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 9,1926E+01 | 1,4091E+02 | 1,0087E+00 |
| Massa Total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 9,1926E+01 | 1,4091E+02 | 3,0260E+00 |
| Massa (Kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 1,5264E-25 | 2,3399E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa Total (u) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição de massa (Kg) | -3,0897E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia Liberada (J) | -2,7769E-11 | | | | |

| Reação | Reagentes | | Produtos | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Xe | Sr | n |
| Nº de mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4294E+02 | 8,9908E+01 | 1,0087E+00 |
| Massa Total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4294E+02 | 8,9908E+01 | 3,0260E+00 |
| Massa (Kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 2,3734E-25 | 1,4929E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa Total (u) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição de massa (Kg) | -3,0482E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia Liberada (J) | -2,7396E-11 | | | | |

| | | | | | |
|---------------|-------------|--|--|--|--|
| Energia Total | -8,2576E-11 | | | | |
|---------------|-------------|--|--|--|--|

Fonte: Elaborado pelos alunos (2019).

Na última aula da UEPS realizamos a avaliação somativa individual. Alguns alunos precisaram de ajuda na interpretação das questões, porém isso já era esperado, visto que estes alunos acabam não fazendo a leitura completa dos enunciados. Os resultados (Tabela 9) desta avaliação foram positivos.

Tabela 9 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 2º Ano

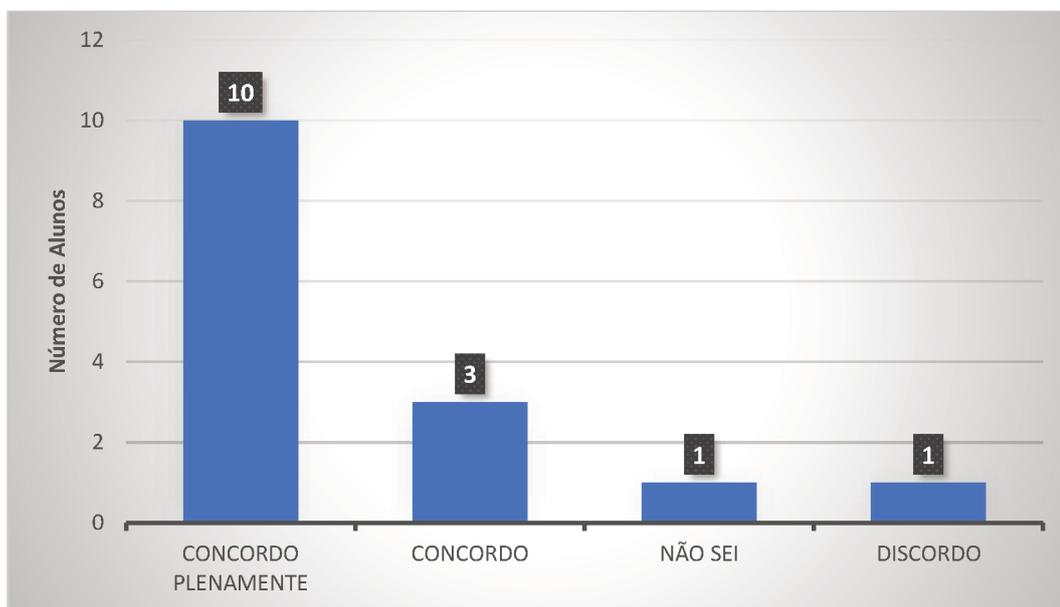
| QUESTÃO | DESENVOLVIDA | NÃO DESENVOLVIDA |
|---------|--------------|------------------|
| 1 | 9 | 5 |
| 2 | 11 | 3 |
| 3 | 11 | 3 |
| 4 | 10 | 4 |
| 5 | a | 7 |
| | b | 6 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados obtidos demonstram que os alunos possuíam maior dificuldade na resolução da questão 5, tanto alternativa a quanto na b. Na alternativa a alguns não se atentaram à porcentagem de matéria fissionável informada na questão, outros não realizaram os cálculos, consequentemente os erros cometidos na alternativa interferem diretamente na alternativa b.

Na avaliação da UEPS, a maioria informou que a avaliação foi rápida e apresentou comentários úteis (Gráfico 10). Esse dado é extremamente importante no que tange a validação da avaliação somativa. O objetivo é que ela possa ser além de tudo formativa e contribuir no processo de ensino significativo crítico.

Gráfico 10 - A Avaliação Formativa Individual forneceu situações contextualizadas que permitiram o acesso aos conteúdos abordados ao longo da UEPS – 2º Ano



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Antes de encerrarmos foi avisado aos alunos que havia sido enviado o link do questionário sobre a Avaliação da UEPS e solicitado a todos que o respondessem para contribuir com o processo de validação.

4.2.3 Perfil da Turma – 3º Ano

É caracterizada com uma turma extremamente ativa, no sentido de que estão sempre dispostos a trabalhar. A proatividade deles é observada, principalmente, na realização de atividades em sala.

Assim como a turma do 2º ano, possuem bastante curiosidade em relação a aspectos físicos, mesmo que alguns tenham aptidões para outras áreas. Muitas vezes conseguem contextualizar de forma independente tópicos que são trabalhados em sala, o que acaba gerando uma discussão rica sobre o assunto.

Geralmente nesses processos de contextualização, eles estão aptos a realizar ligações com outros conteúdos e outros contextos de aplicação. Essa característica é valiosa no sentido de tornar o ensino mais significativos para todos.

Essa turma era composta por 13 alunos, no entanto devido ao fato de cada item da UEPS ser trabalhado em uma aula diferente, a falta de um ou mais alunos é notada.

4.2.4 Aplicação

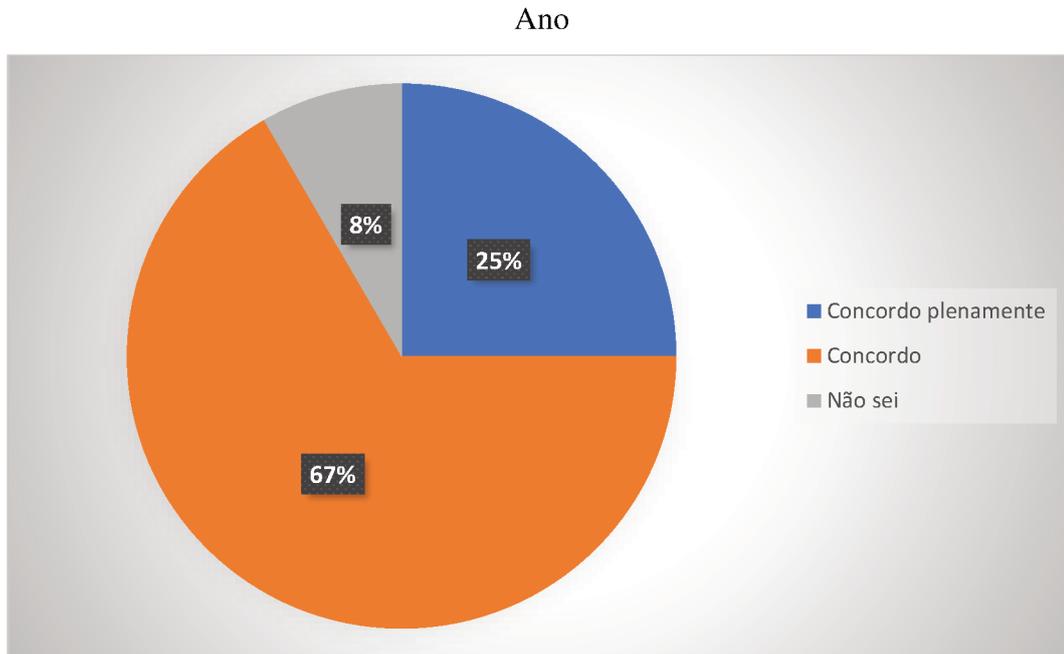
4.2.4.1 1ª Aula e 2ª Aula

Foi dado início a 1ª aula com a apresentação do que é uma UEPS, levando em consideração a importância de que os alunos saibam como o processo irá ocorrer. Nesta apresentação foi necessário enfatizar a forma como eles seriam avaliados, tendo em vista uma aprendizagem significativa.

Outro tópico apresentado nesta aula foram os objetivos da UEPS bem como os assuntos que seriam trabalhados.

Quanto aos objetivos (Gráfico 11) os alunos expressaram que foram claros, porém mais uma vez possuímos uma pequena porcentagem de alunos (8%) que classificaram como não souberam opinar e voltamos a interpretar que para este grupo a proposta da UEPS não ficou clara.

Gráfico 11 - Análise de respostas sobre a clareza na exposição dos objetivos da UEPS – 3º



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Feitas as apresentações necessárias partiu-se para a situação inicial onde os alunos assistiram ao trecho proposto da série *The Big Bang Theory*, após a exibição foi solicitado que cada um, de forma individual respondesse ao questionário, com o intuito de coletar os subsunçores que possuíam acerca do assunto. Alguns resultados obtidos foram os seguintes:

(1) Qual a maior velocidade que se conhece na atualidade?

Aluno 1

Da luz

Aluno 2

Velocidade da luz

Aluno 3

A da luz (300.000) Km/s

Conclusão: Todos os alunos responderam a velocidade da luz. Isso servirá de subsunçor para a apresentação dos conceitos relacionados a este postulado de Einstein.

(2) Qual a velocidade de propagação da informação no vácuo?

Aluno 1

É a mesma velocidade que da luz, 300.000 km/h

Aluno 2

$$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Aluno 3

$$1 \cdot 10^{-4}$$

Conclusão: De 12 participantes da atividade, 7 alunos expressaram corretamente o valor, seja em m/s ou em km/s. Porém 5 informaram valores incorretos, sendo o Aluno 3 um deles.

(3) Existe na natureza algo que possua uma velocidade superior à da luz?

Aluno 1

Não se conhece, ou melhor, nada se descobriu ainda que seja maior que a velocidade da luz.

Aluno 2

não existe

Aluno 3

Não que tenha sido comprovado, mas os cientistas especulam que a matéria escura, que teoricamente é o que faz o universo se expandir, possa ser mais rápida.

Conclusão: Pelo fato de já possuírem o conhecimento de que a velocidade da luz é a maior velocidade na atualidade, isso reflete nas respostas da questão 3. O aluno 3 apresentou uma resposta bem interessante, porém não entramos neste mérito.

(4) É possível estimar a distância até a Lua considerando o tempo apresentado no vídeo e a velocidade da luz? Se sim, calcule a distância.

Aluno 1

$$v = \frac{d}{t}$$

$$d = v \cdot t$$

$$d = 3 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^1$$

$$d = 7,5 \cdot 10^9$$

Aluno 2

$$t = 2,5 \text{ s}$$

$$v = 3 \times 10^8$$

$$x = 1,25 \cdot 3 \cdot 10^8$$

$$x = 4,5 \cdot 10^8$$

Aluno 3

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$3 \cdot 10^8 \times \frac{\Delta S}{2,5}$$

$$\Delta S = 7,5 \cdot 10^8 \text{ m}$$

Conclusão: Os alunos conseguiram calcular a distância, tendo o tempo apresentado no vídeo, porém não tiveram o cuidado de perceber que o tempo apresentado era de ida e volta, portanto o valor esperado era $3,75 \cdot 10^8$ m. Outros alunos, que apresentaram valores diferentes para a velocidade da luz também obtiveram resultados errados.

(5) A velocidade média de um foguete A em direção a Lua é de cerca de 28.440km/h e de um foguete B é de 90% a velocidade da luz. Considerando estes dados, a distância medida pelos pilotos será a mesma para os dois foguetes? Justifique

Aluno 1

Sim, a distância não muda nunca.

Aluno 2

A distância é igual só vai chegar mais rápido lá.

Aluno 3

Sim, pois a distância da Terra até a Lua permanece a mesma independente de sua velocidade.

Conclusão: A maioria dos alunos expressou que a distância seria a mesma, ou que mudaria, porém justificaram de forma incorreta. Essa informação demonstra que a contração do comprimento não é familiar aos alunos.

Foi realizada uma pequena troca de ideias afim de refinar os conhecimentos que eles possuíam, assim ter-se-ia subsunções mais bem estabelecidos para as próximas atividades.

A segunda aula foi destinada à situação-problema sobre o teletransporte de *Star Trek*. Após assistir a um trecho da série como motivador da atividade, uma discussão sobre os assuntos que implicam na realização do teletransporte foi instigada. O primeiro questionamento foi acerca do que é movido com o teletransporte, átomos ou bit? Algumas respostas obtidas foram as seguintes:

Aluno 1: “Átomo.”

Aluno 2: “Se estamos teletransportando uma pessoa então são átomos.”

Ao fazer um comparativo entre bits e átomos, usando a ideia de um livro físico e um digital, e qual seria mais importante, todos concordaram que um livro digital seria a melhor opção visto que vários usuários teriam acesso ao mesmo arquivo, porém estamos falando de seres humanos.

Ao discutir sobre o envio apenas de informações, os alunos fazem as seguintes indagações:

Aluno 1: “Teremos um holograma.”

Aluno 2: “Ao copiar um humano [informações] temos que copiar também sua consciência.”

Utilizando essas falas, foi rebatido dizendo que ter apenas um holograma não serviria ao propósito do teletransporte, e que levar consciência seria um desafio que talvez deveria ser vencido.

Sobre recombinar as informações enviadas com átomos no local, os alunos fazem as seguintes contribuições:

Aluno 1: “Se você desmonta um armário e vai montar em outro lugar nunca fica igual.”

Aluno 2: “Se enviamos só informação poderíamos fazer várias cópias.”

Ao analisar essas afirmações podemos julgá-las como falas bem importantes pois os alunos acabam percebendo os limites impostos pelo teletransporte apenas de informação.

Partimos para a discussão sobre o envio de matéria no teletransporte que é a forma como a própria série aborda este assunto através de um manual, mesmo que ao longo dela equívocos sejam cometidos, como a criação de dois seres humanos com uma mesma quantidade de átomos. Ao trabalhar com essa vertente esbarramos nos limites de energia para esse processo. Um aluno faz uma contribuição importante:

Aluno 1: “Iria ter que desestruturar todos os átomos.”

Aproveitando essa fala, foi ressaltado que para isso seria necessária muita energia. De acordo com o Krauss (1996), seria preciso 10% da energia total produzida na conversão direta

matéria-energia. O autor ainda traz que energia produzida por um ser humano de 50kg seria igual a mil bombas de 1 megaton. A princípio os alunos sugerem valores como:

Aluno 1: “450.000J”

Aluno 2: “50.000.000J”

Aluno 3: “1J”

Após apresentar o valor de energia produzida e fazer um comparativo com a bomba atômica “Fat Man”, de 0,022 megatons, falamos sobre a dificuldade de armazenar toda essa energia e de fazer a conversão energia-matéria.

Para concluir foi questionado aos alunos se eles acreditam que essa tecnologia é possível. Uma aluna expressou a seguinte resposta:

Aluno 1: “Eles transportaram uma partícula né?!”

Ela chegou muito perto do esperado, pois no material proposto foi apresentado a eles a primeira iniciativa rumo ao teletransporte de seres mais complexos, onde cientistas conseguiram reproduzir um fóton em um ponto distante.

Todas as informações compartilhadas nesta atividade são de suma importância para estabelecer subsunçores. Nos próximos itens, elementos desta atividade serão lembrados.

Antes de finalizar a aula foi solicitado que os alunos assistissem ao vídeo introdutório sobre relatividade para que pudessem se ambientar com o assunto antes de apresentação do conteúdo.

4.2.4.2 3ª Aula e 4ª Aula

Ao iniciar a aula os alunos entregaram os questionários respondidos acerca do vídeo introdutório. Vale ressaltar que o intuito desta atividade é fixar alguns tópicos, e como o vídeo é apresentado em língua inglesa os alunos, em casa, poderiam assistir quantas vezes fossem necessárias.

Iniciou-se falando sobre o que é relatividade e sobre o embate entre a Relatividade Galileana e a Relatividade de Einstein. Foi explanado aos alunos as diferenças entre essas duas relatividades e suas limitações. É possível neste primeiro momento já fazer um link com a apresentação feita no vídeo introdutório. O aluno deve construir seu conhecimento com base nos conhecimentos já estabelecidos.

Após a explanação sobre a relatividade, foi dado início ao diálogo sobre simultaneidade. Nesse momento deve-se apresentar algum exemplo simples para que os alunos entendam que dois observadores dificilmente irão concordar sobre a ocorrência de um evento.

Devemos nos ater agora à estrutura do espaço-tempo assim, passamos agora a analisar os eventos sob esta perspectiva. Como objeto facilitador foi utilizada a simulação proposta na UEPS, onde a posição de um observador pode ser modificada, assim como sua percepção de como os eventos acontecem.

Neste ponto foi ultrapassado o tempo previsto para as atividades, visto que a discussão sobre a dilatação temporal seria realizada ainda na 3ª aula, porém ela ocorreu na 4ª aula. Esse ponto será reavaliado no novo processo de validação ao fim da 2ª Etapa.

Ao apresentar o aparente paradoxo de gêmeos podemos generalizar a situação para então encontrar a equação da dilatação temporal. Ao fazer isto é importante que os alunos sejam instigados a se questionar se esse fenômeno é real pois não é algo que eles percebam no seu cotidiano. Como forma de criar um subsunçor para o assunto foi utilizado como exemplo a importância de se analisar a relatividade do tempo no fornecimento de localizações por satélites que orbitam em torno da Terra.

4.2.4.3 5ª Aula e 6ª Aula

A 5ª aula foi destinada ao estudo da contração do comprimento, novamente foi feita uma referência ao vídeo introdutório, lembrando os alunos sobre a situação apresentada, onde o trem havia comprimido. Novamente os alunos foram questionados se esse fenômeno é real, porém muitos sugeriram que seria apenas uma ilusão, algo já esperado, já que a contração do comprimento é mínima em velocidades do nosso cotidiano, portanto não perceptível.

Apresentada a fórmula da contração do comprimento, foi dado início à atividade exploratória sobre a vida dos múons. Os alunos realizaram uma análise comparativa entre a Física Clássica e a Física Relativística na detecção de múons na superfície terrestre.

Diferentemente dos alunos da 1ª Etapa, estes alunos apresentam mais proatividade e interação no momento de resolução deste roteiro. Os dados apresentados na Tabela 10 mostram que os alunos possuíam dificuldade em explicar sobre a diferença entre a quantidade de múons que seriam detectados considerando a Física Clássica e considerando a Relatividade Especial, porém ao final da atividade, no 7º passo conseguiram expor mesmo que de forma parcial a essência dessa comparação.

Tabela 10 - Resultados da Atividade "A Viagem dos Múons" – 3º Ano

| PASSOS | | ACERTO TOTAL | ACERTO PARCIAL | ERRO |
|--------|--|--------------|----------------|------|
| 1º | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 10 | 1 | 0 |
| 2º | Número de partículas que chegam à superfície considerando a Mecânica Clássica. | 11 | 0 | 0 |
| 3º | Conclusão obtida com o 2º passo. | 10 | 0 | 1 |
| 4º | Vida média do múon considerando a Relatividade Especial. | 11 | 0 | 0 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a vida média dilatada. | 10 | 1 | 0 |
| 5º | Conclusão obtida no comparativo entre o 2º e 4º passos. | 3 | 7 | 1 |
| 6º | Determinação do comprimento comprimido percorrido pelo múon. | 10 | 0 | 1 |
| | Determinação do tempo de chegada do múon a superfície da Terra utilizando a fórmula da velocidade média. | 10 | 0 | 1 |
| | Número de partículas que chegam à superfície considerando a contração do comprimento. | 9 | 1 | 1 |
| 7º | Conclusões obtidas no desenvolvimento do roteiro. | 2 | 6 | 3 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O último item a ser trabalhado na apresentação do conteúdo era sobre a energia relativística. Trouxemos elementos da discussão sobre o teletransporte para esse momento e falamos especificamente sobre a energia de repouso obtida pela fórmula de Einstein. Um dos elementos abordados foi a quantidade de energia produzida por um ser humano de 50kg, então utilizando o objeto de aprendizagem disponível na UEPS pudemos avaliar a conversão de outros objetos e a equivalência dessa energia em outros processos.

4.2.4.4 7ª Aula e 8ª Aula

Ao dar início a 7ª aula foi lembrado a importância de uma análise da energia relativística, principalmente no que tange a produção de energia em usinas nucleares, já que a proposta da nova situação-problema é exatamente uma análise do processo de fissão nuclear e a conversão de massa em energia.

Os alunos expressaram bastante interesse na atividade, visto que muitos nunca utilizaram o programa de planilhas. Os resultados da aplicação foram significativos (Tabela 11) uma vez que, houve um grande número de acertos em cada uma das etapas.

Tabela 11 - Resultados da Atividade "Fissão Nuclear" – 3º Ano

| PASSOS | ACERTO TOTAL | ACERTO PARCIAL | ERRO |
|---|--------------|----------------|------|
| Equacionar as reações nucleares. | 12 | 0 | 0 |
| Determinar a energia liberada na queima de 1kg de carvão. | 11 | 0 | 1 |
| Determinar a energia liberada na fissão de 1kg de Urânio. | 12 | 0 | 0 |
| Determinar a massa de urânio necessária para liberar a energia equivalente a queima de 1kg de carvão. | 10 | 2 | 0 |
| Comparação e conclusão acerca dos dados obtidos. | 7 | 2 | 3 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os dados coletados pelos alunos e transformados em planilhas é representado abaixo pelo trabalho de um dos grupos (Tabela 12). Através destes dados os alunos foram capazes de verificar a enorme quantidade de energia liberada na conversão de uma pequena quantidade de massa proveniente da variação da quantidade de massa do processo de fissão nuclear.

Tabela 12 - Atividade “Fissão Nuclear” – Material Desenvolvido pelo Grupo – 3º Ano

| REAÇÃO | REAGENTES | | PRODUTOS | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Ba | Kr | n |
| Nº de Mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,3891E+02 | 9,3934E+01 | 1,0087E+00 |
| Massa total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,3891E+02 | 9,3934E+01 | 3,0260E+00 |
| Massa (kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 2,3066E-25 | 1,5598E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa total (kg) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição da massa (kg) | -3,0490E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia liberada (J) | -2,7403E-11 | | | | |

| REAÇÃO | REAGENTES | | PRODUTOS | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Ba | Kr | n |
| Nº de Mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4091E+02 | 9,1926E+01 | 1,0087E+00 |
| Massa total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4091E+02 | 9,1926E+01 | 3,0260E+00 |
| Massa (kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 2,3399E-25 | 1,5264E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa total (kg) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição da massa (kg) | -3,0890E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia liberada (J) | -2,7762E-11 | | | | |

| REAÇÃO | REAGENTES | | PRODUTOS | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| | U | n | Xe | Sr | n |
| Nº de Mols | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 1,0000E+00 | 3,0000E+00 |
| Massa (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4294E+02 | 8,9908E+01 | 1,0087E+00 |
| Massa total (u) | 2,3504E+02 | 1,0087E+00 | 1,4294E+02 | 8,9908E+01 | 3,0260E+00 |
| Massa (kg) | 3,9029E-25 | 1,6749E-27 | 2,3734E-25 | 1,4929E-25 | 5,0247E-27 |
| Massa total (kg) | 3,9197E-25 | | 3,9166E-25 | | |
| Varição da massa (kg) | -3,0471E-28 | | | | |
| Velocidade da luz (m/s) | 2,9979E+08 | | | | |
| Energia liberada (J) | -2,7386E-11 | | | | |

| | |
|-------------------|-------------|
| ENERGIA TOTAL (J) | -8,2551E-11 |
|-------------------|-------------|

Fonte: Elaborado pelos alunos (2019).

Para finalizar a aplicação da UEPS foi realizada a Avaliação Somativa Individual. De forma geral, os alunos apresentaram um bom desempenho no desenvolvimento das questões e souberam aplicar de forma correta os conceitos apresentados ao longo da UEPS.

Para analisar esta avaliação pode-se considerar as seguintes respostas expressas pelos alunos:

Tabela 13 - Resultados da Avaliação Somativa Individual – 3º Ano

| QUESTÃO | DESENVOLVIDA | NÃO DESENVOLVIDA |
|---------|--------------|------------------|
| 1 | 9 | 2 |
| 2 | 9 | 2 |
| 3 | 10 | 1 |
| 4 | 9 | 2 |
| 5 | a | 10 |
| | b | 9 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Diferentemente das demais turmas, o 3º ano, apresentou um resultado melhor tanto nas questões 1 e 2 quanto na questão 5. Este resultado era esperado tendo em vista uma maior habilidade tanto no desenvolvimento matemático quanto na significação de conteúdos que é apresentada pela turma.

Antes de encerrar foi solicitado aos alunos que respondessem ao questionário de Avaliação da UEPS.

4.2.5 Processo de Validação

O produto apresentado neste trabalho é fruto de dois processos de validação, sendo que nesta segunda etapa as alterações que ocorreram foram as seguintes:

- Realizar a apresentação do vídeo introdutório da apresentação do conteúdo também em sala. Isso permite que o professor possa fazer pausas e enfatizar o que é questionado no questionário respondido em casa, tornando assim o ensino mais concreto.
- Aumentar o número de aulas de 7 para 8. Isso permite um intervalo de tempo melhor para trabalhar cada tópico da UEPS, evitando assim, uma aprendizagem mecanizada.
- Modificar as opções de resposta da Avaliação da UEPS, eliminando as opções “moderado”, “muito bom”, “concordo plenamente”, “discordo totalmente” e “não sei” (este último substituído por “intermédio”). Assim garantindo uma forma mais simplificada de avaliação.

Deve-se ressaltar que mesmo sendo realizado o processo de validação novamente, o professor que irá aplicar o produto desenvolvido neste trabalho pode encontrar certa dificuldade em virtude de possuir uma realidade diferente da qual esta UEPS está se baseando. O professor como conhecedor das potencialidades e limites dos seus alunos pode realizar os ajustes que julgar necessários.

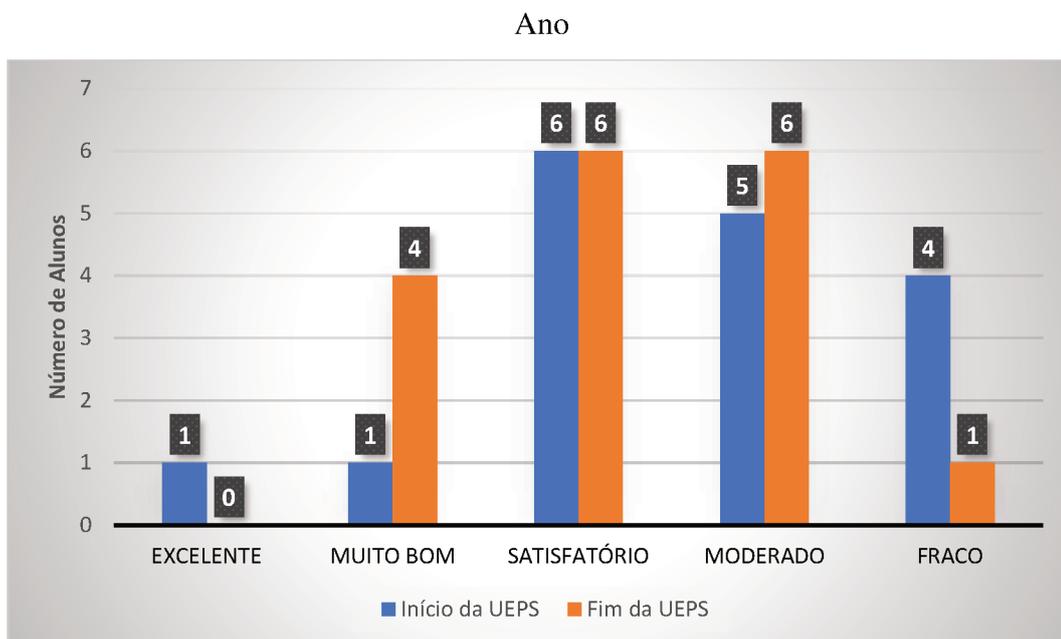
4.3 DIAGNÓSTICO FINAL

Entre uma aplicação e outra houve um processo de validação. Considerando os dados coletados, alguns ajustes foram necessários a fim de deixar a UEPS mais lapidada. Com isso houve a troca de uma das situações-problema. A situação em questão seria sobre a Viagem no Tempo, porém ela não foi bem aproveitada pelos alunos e os resultados apresentados por eles não foram satisfatórios, visto que não conseguiram demonstrar sua análise através de um texto coerente. Outro fator que contribuiu com a inserção da situação sobre a fissão nuclear foi o fato de apresentar uma nova ferramenta de trabalho, com o uso de planilhas.

Na 2ª Etapa a participação dos alunos foi mais ativa e produziu resultados melhores, conforme foi apresentado anteriormente. A inserção de alguns elementos como vídeos, simulações e animações talvez tenha tornado a UEPS mais atrativa e conseqüentemente, ajudou na apresentação de subsunçores que permitiram uma aprendizagem significativa.

O maior obstáculo da 1ª Etapa talvez tenha sido a falta de comprometimento da turma, tendo em vista o perfil apresentado anteriormente, mesmo assim, observa-se através do Gráfico 12, que houve uma melhora no nível de conhecimento sob o ponto de vista dos próprios alunos. É importante destacar que no início da UEPS um aluno classificou seu nível de conhecimento como excelente, porém ao final da UEPS ninguém classificou seu conhecimento como excelente. Isso se deve ao fato de que o que talvez ele julgasse como sendo conhecimento do assunto não era. Agora toda uma nova estrutura de conhecimento é formada e possui uma nova classificação.

Gráfico 12 - Autoavaliação da evolução de conhecimento pré- e pós-aplicação da UEPS - 1º

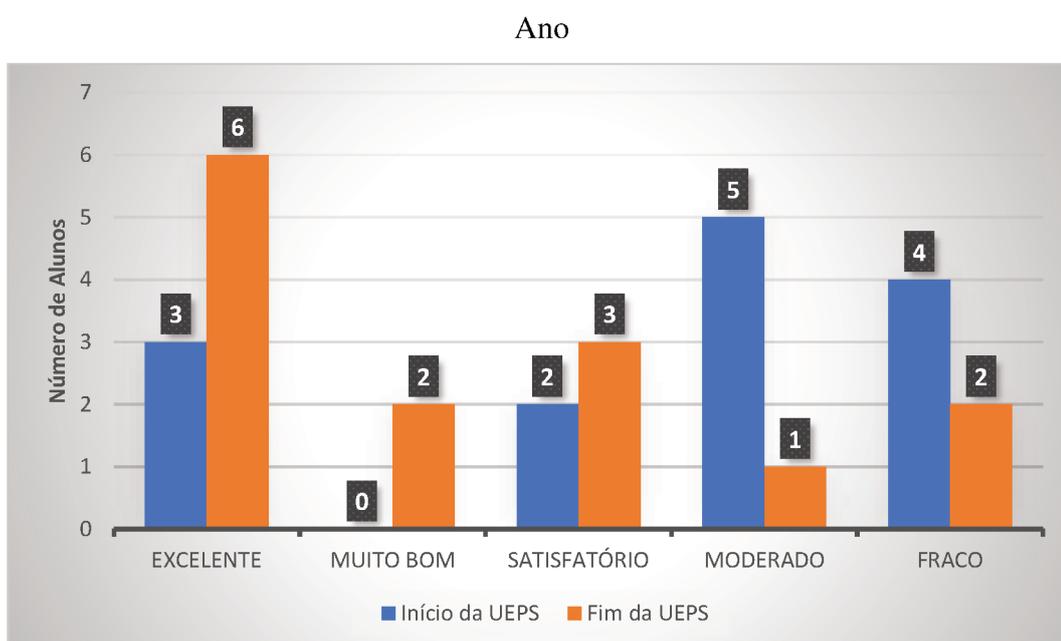


Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Quanto ao comprometimento com a UEPS, na 2ª Etapa, foi observado algo oposto ao que ocorreu com a turma de 1º ano. Os dados obtidos na 2ª Etapa foram extremamente valiosos para que o novo processo de validação ocorresse e alguns ajustes fossem feitos. Isso permite que o produto entregue tenha uma maior riqueza de detalhes.

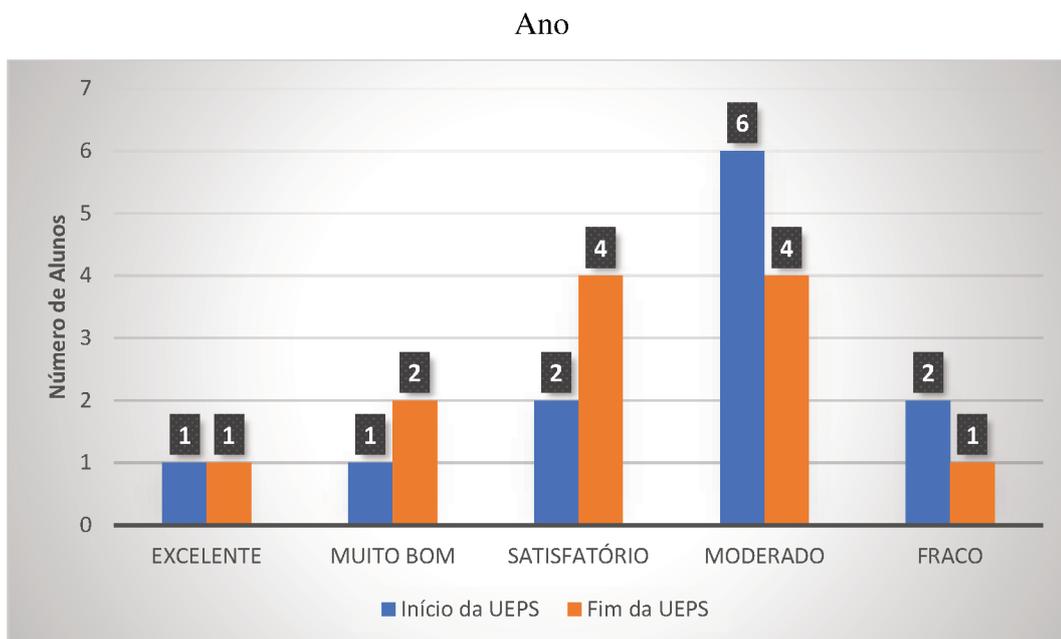
Analisando a classificação que os alunos fizeram sobre seu conhecimento em relação ao assunto, obtemos para o 2º e 3º anos os Gráfico 13 e Gráfico 14, respectivamente.

Gráfico 13 - Autoavaliação da evolução de conhecimento pré- e pós-aplicação da UEPS - 2º



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 14 - Autoavaliação da evolução de conhecimento pré- e pós-aplicação da UEPS - 3º

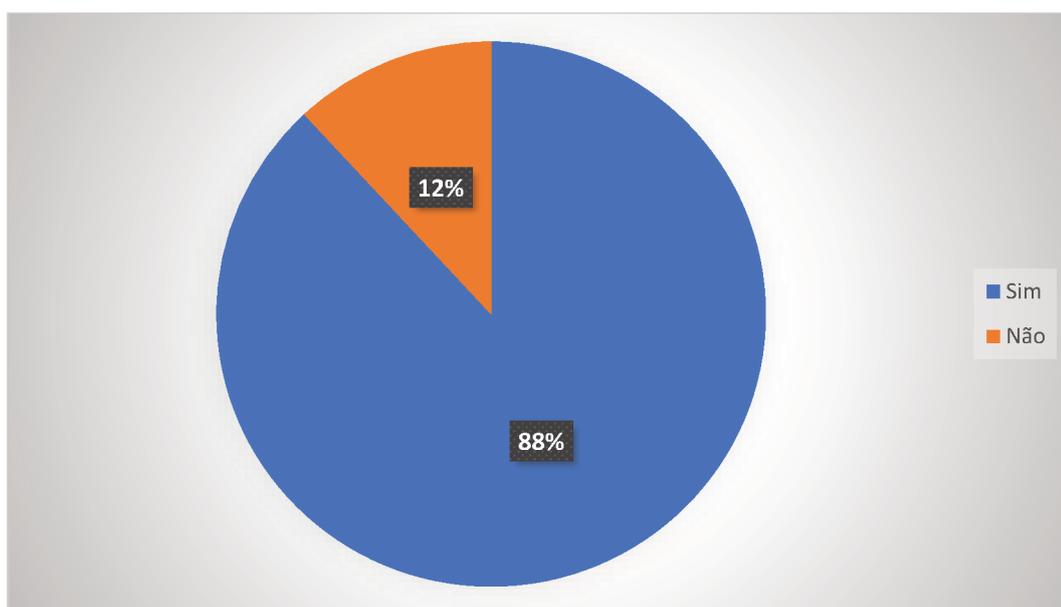


Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Ao comparar as autoavaliações realizadas pelos alunos da 2ª Etapa verifica-se que os alunos de 2º ano classificaram seu conhecimento pós-aplicação melhor em relação aos alunos de 3º ano, isso se justifica talvez por uma participação mais ativa da turma de 2º ano ao longo da UEPS. É importante destacar que as duas turmas se comprometeram verdadeiramente com a proposta desde o início vide o perfil das turmas apresentado anteriormente, porém ao longo da aplicação a turma de 2º ano teve um destaque maior na participação.

A aplicação da UEPS apresentou aos alunos, tanto na 1ª Etapa quanto na 2ª Etapa, um aspecto positivo, seja por tornar o ensino significativo ou por sua estrutura diferenciada. Sendo assim, quando questionados na Avaliação da UEPS sobre a aplicação dessa sequência para outros conteúdos 88% se mostraram a favor (Gráfico 15).

Gráfico 15 - Você gostaria que o método de aplicação no formato de UEPS fosse utilizado em outros conteúdos?



Fonte: Avaliação da UEPS/Elaborado pelo autor (2019).

Vale apresentar os aspectos que os alunos julgaram como mais valiosos e úteis nesta UEPS e que contribuíram nos processos de validação.

Aluno 1: “O conhecimento de fenômenos tão próximos ao cotidiano e que não tínhamos noção sobre.”

Aluno 2: “Os vídeos e referências usadas para darem uma explicação mais compreensível sobre o assunto abordado.”

Aluno 3: “Método diferenciado de ver o conteúdo e atividades diferentes também.”

Aluno 4: “Talvez a Física Moderna cobrada em federais.”

Aluno 5: “Os comentários feitos durante a explicação e a ajuda durante os exercícios.”

Aluno 6: “Despertou interesse na Física.”

Estes comentários demonstram a importância que os alunos dão ao trazerem a Física para perto da realidade deles e de forma dinâmica. Conseqüentemente, se o ensino é interessante, instigante e dinâmico teremos uma grande potencialidade de torná-lo significativo para o nosso aluno. Além do mais, o uso de ferramentas digitais auxilia na compreensão de conceitos que podem parecer tão distantes de suas realidades. A contextualização se mostrou uma peça fundamental no estabelecimento de subsunçores consistentes, os quais serviram de base para construção do conhecimento.

5 CONCLUSÃO

A aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), pautada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e na teoria de aprendizagem significativa crítica de Moreira, que ainda leva em consideração a contribuição de outros teóricos, se mostrou uma ferramenta importante e relevante no ensino de Relatividade Especial para turmas do ensino médio. É importante destacar que a escolha desta metodologia foi proposital no que pretendia passar aos alunos, visto que o aspecto físico abordado é de fato um conteúdo que envolve muita abstração. Relatividade Especial, em todos seus aspectos, não é nada trivial para alunos do Ensino Médio.

Ao final esta UEPS se mostrou frutífera no que se propunha, ensinar Relatividade Especial de forma significativa. É possível verificar este dado através do desempenho dos alunos nas Avaliações Somativas Individuais, onde os alunos tiveram que acessar os conhecimentos que eles adquiriram ao longo da UEPS e que vincularam a subsunções que foram preparados e refinados também ao longo do processo.

Ao professor que eventualmente realize esta aplicação em sala de aula é preciso recomendar que talvez esta UEPS não atinja todo seu potencial se for aplicada a turmas de 1º ano do ensino médio. Como relatado na análise dos resultados, a turma de 1º ano não demonstrou maturidade suficiente para trabalhar tal aspecto físico quando comparada com turmas do 2º e 3º anos. Nesse âmbito, é importante ressaltar que na relação triádica, formada entre aluno-professor-material educativo, o aluno precisa demonstrar uma pré-disposição para o ensino, só assim sua aprendizagem será significativa e infelizmente isso não ocorreu na turma de 1º ano.

Essa pré-disposição foi percebida com os alunos de 2º e 3º anos, portanto é importante destacar o impacto positivo que essa metodologia teve com essas turmas. É possível verificar o empenho destes grupos tanto nas situações-problema apresentadas ao longo da UEPS quanto nas discussões que ocorreram em torno delas e na avaliação somativa individual. Ao avaliarem seus empenhos com o desenvolvimento das atividades, de 25% a 40% dos alunos classificaram como muito bom ou excelente.

Mesmo que o professor, dentro desta proposta, tenha um papel importante, é necessário destacar que a inserção do aluno no seu próprio processo de aprendizagem torna o ensino mais significativo e desconstrói a ideia de o professor como o detentor de todo o conhecimento. O ambiente criado propiciou ao aluno que participasse de forma ativa e crítica,

expressando sua opinião sobre os diversos assuntos que giram em torno do tema Relatividade Especial.

O trabalho apresentado instigou os alunos através de situações-problema a avaliar seus conhecimentos e até mesmo reavaliá-los depois. A construção ocorreu de forma natural sempre buscando fazer com que o aluno acessasse subsunçores já estabelecidos, lembrando que esses elementos são essenciais quando se objetiva que a aprendizagem seja significativa.

Ao professor que queira executar o produto desta dissertação é necessário destacar que, além de buscar formar o aluno levando-o por um caminho que diverge do método tradicionalista de ensino, todo esse processo permitirá que você também passe por um processo de formação e aprimoramento do seu método de trabalho visto que a teoria abordada na UEPS é tão extensa e rica nos seus detalhes que instiga um constante amadurecimento desses conhecimentos.

Atualmente a educação representa uma vertente da sociedade que necessita acompanhar de perto o desenvolvimento gerado pela globalização, cada vez mais informações estão disponíveis na palma da mão. Ensinar deve ser muito mais que simplesmente seguir os roteiros apresentados nos livros didáticos, que muitas vezes já circulam há muito tempo dentro das escolas, para tanto lembre-se do 2º princípio apresentado por Moreira (2017b), da não centralidade do livro didático. Abuse dos materiais educativos disponíveis, assim como realizado na UEPS deste trabalho: utilize vídeos, simulações, animações, textos, reportagens, planilhas entre outras.

É importante ressaltar que o conhecimento é movido pela curiosidade humana, sendo assim a proposição de situações-problema ao longo da UEPS foi de vital importância neste processo. Atiçar a curiosidade dos alunos os torna mais atentos e interessados pelo assunto que se quer trabalhar.

Outro ponto importante é o fato de que em uma sala de aula há alunos com os mais variados perfis e que aprendem de formas diferentes, e o professor, mesmo que fazendo uso de toda potencialidade da UEPS, deve estar atento a este detalhe. Atiçar a curiosidade dos alunos é fundamental, porém incluir elementos que possam atingir a todos os alunos é essencial. Portanto, o professor deve agir como um mediador atento ao longo de toda a UEPS.

A estrutura física escolar também foi um ponto importante no processo de aplicação, visto que esta ocorreu em um colégio particular que possui salas equipadas com projetores, sistema sonoro e ambientes amplos. As turmas não são numerosas visto que a própria proposta pedagógica do colégio visa um menor número de alunos e um contato maior com os professores, sendo assim há uma maior interação entre professores e alunos. O questionamento que fica é,

quais os empecilhos poderiam ocorrer ao longo da aplicação em uma escola pública? Este questionamento é proposto tendo em vista que muitas vezes as escolas públicas apresentam defasagem de equipamentos e salas extremamente numerosas. Alternativamente esta UEPS poderia ser adaptada visando o uso de *smartphones*, já que dificilmente um aluno não possua um destes aparelhos. Quanto as salas numerosas, poderia se pensar em trabalhar com grupos menores no contraturno das aulas, sendo uma forma alternativa de apresentação do conteúdo.

A aplicação desta UEPS permitiu verificar que ao longo do caminho percorrido houve um avanço significativo na forma de pensar dos alunos e muitos apresentaram posicionamentos críticos acerca do tema trabalhado. Quando questionados na avaliação da UEPS sobre o interesse de se usar esta metodologia na aplicação de outros conteúdos a maioria (88,1%) se mostrou favorável, então é preciso se questionar: Quais os benefícios que poderiam ser obtidos ao se criar um programa de Ensino de Física baseado em UEPS? Como torná-lo dinâmico, manter a participação ativa dos alunos e inserir mais ferramentas tecnológicas sem que ao mesmo tempo se torne repetitivo?

Em suma, apesar das dificuldades apresentadas pelos alunos ao longo de um processo que acabou passando por validações e adaptações, e pela resistência de se trabalhar ativamente, a UEPS cumpre seu propósito e traz para os alunos um meio de ensino que tem como resultado final uma aprendizagem significativa. Esta metodologia é rica em todos seus detalhes, desde o embasamento teórico que a fundamenta até as possibilidades de situações-problema que podem ser utilizadas como ferramentas. É vital que se busque trabalhar novas formas de ensino, tanto para Relatividade Especial quanto para qualquer outro tema que se proponha trabalhar. Nesse contexto, essa proposta apresenta uma contribuição (inicial) relevante visando a incorporação definitiva de tópicos da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio brasileiro, por meio de metodologias de ensino ativas que oportunizem o papel ativo dos estudantes no processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, A. C. Como a Educação influencia o Desenvolvimento Econômico do Brasil? **Tudo pela Educação**, 31 Agosto 2018. Disponível em: <<https://www.todospelaeducacao.org.br/conteudo/como-a-educacao-influencia-o-desenvolvimento-economico-do-brasil>>. Acesso em: 03 Outubro 2019.
- ACIDZERO. Cone de luz. **Wikipédia**, 2009. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Cone-de-luz.png>>. Acesso em: 22 Novembro 2019.
- BOROCHOVICIUS, E.; BARBOZA TORTELLA, J. C. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 83, p. 263-293, Abr./Jun. 2014.
- BRASIL. Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação**, Brasília, 1996.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Introdução**. Brasília: MEC, 1998.
- CARBOGIM, F. D. C. et al. Modelo de ensino ativo para o desenvolvimento do pensamento crítico. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, 72, n. 1, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71672019000100293&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 24 Outubro 2019.
- CORRADINI, S. N. **Indicadores de Qualidade na Educação: Um Estudo a partir do PISA e da TALIS**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 309. 2012.
- FERNANDES, E. David Ausubel e a aprendizagem significativa. **Nova Escola**, 01 dez 2011. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>>. Acesso em: 23 mai 2018.
- GADOTTI, M. Perspectivas atuais da educação. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 03-11, Jun. 2000.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2007.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2016.
- JESUS, G. M. D.; JARDIM, M. I. D. A. **Física de Partículas Elementares e a Utilização de Jogos no Ensino Médio**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2017.
- KANSO, M. A. Aprendizagem significativa – Teoria de Ausubel-Novak. **Hypescience**, 22 fev. 2015. Disponível em: <<https://hypescience.com/aprendizagem-significativa-teoria-de-ausubel-novak/>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- KRAUSS, L. M. **A Física de Jornada nas Estrelas - Star Trek**. São Paulo: Makron Books, 1996.

LA TORRE, S. D.; PUJOL, M. A. A escola que queremos: escolas de desenvolvimento humano. In: LA TORRE, S. D.; PUJOL, M. A.; SILVA, V. L. D. S. E. **Inovando na sala de aula: instituições transformadoras**. 1. ed. Blumenau: Nova Letra, 2013. p. 13-31.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 2, n. 4, p. 473-485, 2006.

MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para a organização de conteúdo de Física. **Revista Brasileira de Física**, v. 9, n. 1, p. 275-292, 1979.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, 1, n. 3, 1996. 193-232.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. III Encontro Internacional sobre Aprendizagem. Lisboa: [s.n.]. 2000. p. 33-45.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica. **Indivisa: Boletín de estudios e investigación**, n. 8, 2007. 83-98.

MOREIRA, M. A. Abandono da Narrativa, Ensino centrado no Aluno e Aprender a Aprender Criticamente. **Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 02-17, Abr. 2011a.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25-46, 2011b.

MOREIRA, M. A. Unidade de ensino potencialmente significativas–UEPS. In: SILVA, M. G. L. D.; MOHR, A.; FERNANDES, M. **Temas de ensino e formação de professores de ciências**. Natal: EDUFRN, 2012. p. 45-57.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 1, n. 1, 2017a.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2017b.

MUNHOZ, A. S. **Aprendizagem Ativa via Tecnologias**. 1ª. ed. Curitiba: InterSaberes, 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica: Ótica, Relatividade e Física quântica**. São Paulo: Blücher, 2002.

OLIVEIRA, J. B. Os desafios da escola do século XXI. **Revista Veja**, 18 ago 2017. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/blog/educacao-em-evidencia/a-escola-do-seculo-xxi/>>. Acesso em: 15 mai 2018.

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**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PELIZZARI, A. et al. Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel. **Revista Psicologia Educação Cultuta**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 37-42, Jul. 2002.

PERRENOUD, P. **Construir as Competências desde a Escola**. [S.l.]: Artmed, 1999.

PIERUCCINI, I. A Busca do Conhecimento na Escola: A Pesquisa Escolar e a Construção do Conhecimento. **A Aventura de Conhecer**, n. 15, Setembro 2008. 49-64.

PRENSKY, M. Nativos digitais, imigrantes digitais. **On the Horizon**, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2001.

RIBOLDI, B. **A construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para ensinar relatividade no ensino médio utilizando animações e o game "a solver speed of light"**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 115. 2016. Orientador: Nelson Studart Filho.

SACRAMENTO, A. D. J. **Curvas no Espaço de Minkowski**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 107. 2015.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. J. **Princípios de Física**. 5ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, v. 1, 2014.

SOUZA, D. S. D. **Teoria da Relatividade Restrita: Uma Sequência Didática para o Ensino Médio abordando os Conceitos de Aberração da Luz, Contração Espacial de Lorentz, Efeitos Doppler, Terrell e Penrose**. Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus. 2019. Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga. Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Viali Loyola.

TALIM, S. L. A Atitude no Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 21, n. 3, 2004. 313-324.

TAVARES, R. Construindo Mapas Conceituais. **Ciência & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 72-85, Dez 2007.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TIRONI, C. R. et al. A Aprendizagem Significativa no Ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC**, Águas de Lindoia, 2013.

UNESCO. **World Conference on Higher Education: the new dynamics of higher education and research for societal change and development**. Paris: Unesco. 2009.

VALADARES, J. A teoria da Aprendizagem Significativa como Teoria Construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 36-57, 2011.

VIANNA, L. B. Teoria da Relatividade. **InfoEscola**, 2019. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/dilatacao-do-tempo/>>. Acesso em: 29 Outubro 2019.

VIEIRA, B. R. B. Relatório Parcial: Referencial Inercial, 2007. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2007/BrunoR-Ugarte_RP.pdf>. Acesso em: 29 Outubro 2019.

WADE, E. Os três significados de $E = mc^2$, a equação mais famosa de Einstein. **Medium**, 28 Janeiro 2018. Disponível em: <<https://medium.com/@eltonwade/os-tr%C3%AAs-significados-de-e-mc%C2%B2-a-equa%C3%A7%C3%A3o-mais-famosa-de-einstein-c9a18bc33a1d>>. Acesso em: 01 Dezembro 2019.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. Tradução de Daniel Vieira. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO



**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO**

Uma Abordagem com Auxílio de Recursos Digitais

JOSÉ EDSON REINERT

designed by  freepik.com

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA (MNPEF)

José Edson Reinert

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO
DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM
AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAIS**

Blumenau

2020

José Edson Reinert

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA O ENSINO
DA RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM
AUXÍLIO DE RECURSOS DIGITAIS**

Produto Educacional submetido ao Programa de
Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção
do título de mestre em ensino de física.

Orientador: Prof. Daniel Almeida Fagundes, Dr.

Blumenau

2020

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. APRESENTAÇÃO | 5 |
| 2. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO (UEPS) | 6 |
| 3. OBJETIVOS..... | 7 |
| 4. SEQUÊNCIA..... | 8 |
| 4.1. TÓPICOS A SEREM ABORDADOS..... | 8 |
| 4.2. SITUAÇÃO INICIAL | 9 |
| 4.3. SITUAÇÃO-PROBLEMA | 10 |
| 4.4. APRESENTAÇÃO DOS CONTEÚDOS..... | 11 |
| 4.4.1. Introdução dos Aspectos Físicos | 11 |
| 4.4.2. Relatividade Galileana x Relatividade Especial..... | 12 |
| 4.4.3. Simultaneidade | 13 |
| 4.4.4. Dilatação Temporal | 14 |
| 4.4.5. Contração do Comprimento | 16 |
| 4.4.6. Energia Relativística..... | 17 |
| 4.5. NOVA SITUAÇÃO-PROBLEMA..... | 18 |
| 4.6. AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL..... | 19 |
| 4.7. AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM | 20 |
| 4.8. AVALIAÇÃO DA UEPS | 21 |
| 5. MATERIAIS DE APOIO..... | 22 |
| 5.1. MATERIAL DE APOIO I – SONDADE DE SUBSUNÇORES | 22 |
| 5.2. MATERIAL DE APOIO II – O TELETRANSPORTE DE STAR TREK | 26 |
| 5.3. MATERIAL DE APOIO III – VÍDEO INTRODUTÓRIO..... | 29 |
| 5.4. MATERIAL DE APOIO IV – A VIAGEM DOS MÚONS..... | 31 |
| 5.5. MATERIAL DE APOIO V – FISSÃO NUCLEAR..... | 39 |
| 5.6. MATERIAL DE APOIO VI – AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL | 46 |
| 5.7. MATERIAL DE APOIO VII – AVALIAÇÃO DA UEPS | 51 |
| BIBLIOGRAFIA | 54 |

1. APRESENTAÇÃO

Caro(a) Professor(a),

Esta Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) é um produto educacional exigido como requisito para obtenção do grau de mestre do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e fruto do trabalho desenvolvido na dissertação *“Unidade de Ensino Potencialmente Significativo para o Ensino da Relatividade Especial no Ensino Médio: Uma Abordagem com Auxílio de Recursos Digitais”*.

É uma grande satisfação poder proporcionar a você educador uma ferramenta que julgo extremamente valiosa para o ensino da Relatividade Especial. Após a primeira aplicação, esta UEPS passou por um processo de validação para que pudesse lhe proporcionar o melhor resultado possível. Porém lembre-se que cada sala de aula apresenta uma realidade diferente, como alunos com níveis diferentes de conhecimento e é você o responsável por fazer qualquer ajuste final, se for necessário.

Este produto tem o objetivo de ser um norteador para o professor no processo de aprendizagem significativa. Buscamos estabelecer e fortalecer subsunçores nos alunos para que se possa construir o conhecimento em cima deles. São nesses vínculos tão importantes que a aprendizagem se torna efetiva e significativa.

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

Finalmente desejo a você uma ótima experiência em sala de aula e que esta UEPS seja tão enriquecedora para você e seus alunos como foi para mim.

José Edson Reinert

2. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO (UEPS)

O que são UEPS? Essa é a questão que pretendemos responder nesta sessão, assim você, professor, poderá compreender a importância de cada item que a constitui.

UEPS se baseiam nos referenciais teóricos de ensino significativo, são sequências de ensino que tem a potencialidade de ser significativas e relevantes para o aluno, as quais podem levar à absorção de conceitos ou tópicos específicos de um ou mais conteúdos escolares.

Estas UEPS buscam evitar a aprendizagem mecânica e estimular a pesquisa dentro de sala de aula, fazendo do aluno um membro ativo de todo o processo. Elas introduzem os subsunçores, conhecimentos mais gerais que podem ser ligados a outros mais específicos criando uma rede hierarquizada que facilita ao aluno chegar aos conhecimentos mais específicos. Diferentemente de sequência de ensino tradicional, as UEPS não se baseiam na narrativa do professor, por isso elas influenciam diretamente na didática do professor e na forma como os alunos estão habituados a “aprender”.

As UEPS possuem estruturas específicas, sendo elas:

- (1) Seleção dos tópicos a serem abordados
- (2) Situações iniciais: Deve-se fazer com que os alunos externalizem seus conhecimentos acerca do assunto que está sendo tratado.
- (3) Situações-problema: Considerando a sondagem nas situações iniciais, essas situações devem ser introdutórias e apresentar algum dos tópicos que se deseja trabalhar.
- (4) Apresentação dos conteúdos: É o momento de apresentar formalmente os tópicos que se deseja trabalhar. Para tanto, faz-se uso dos mais diversos materiais educativos.
- (5) Novas situações-problema: Após explanar sobre os tópicos é hora de apresentar uma nova situação, com um nível de complexidade maior.
- (6) Avaliação somativa individual: Essa avaliação é realizada com questões que permitam ao aluno expor o que conseguiu absorver ao longo do processo acessando seus subsunçores¹.
- (7) Avaliação da aprendizagem: Ocorre ao longo do processo, verificando cada contribuição que o aluno apresenta.

¹ Subsunçores são, dentro da teoria de aprendizagem significativa, conceitos mais gerais servem de base para a ligação com conceitos mais específicos levando a uma assimilação mais efetiva.

- (8) Avaliação da UEPS: Esta avaliação tem o objetivo de mostrar os pontos onde a UEPS obteve sucesso e ao mesmo tempo pontos onde falhou, permitindo ao professor modificá-la para que o processo se torne o mais significativo possível.

Utilizando-se da estrutura da UEPS, apresentamos a seguir a proposta para se trabalhar Relatividade Especial.



Dica Extra!

Se você quer saber mais detalhes sobre as UEPS e sua estrutura, consulte a dissertação que deu origem a esse material: ***“Unidade de Ensino Potencialmente Significativo para o Ensino da Relatividade Especial no Ensino Médio: Uma Abordagem com Auxílio de Recursos Digitais”***.

Sugestão de Leitura



O desenvolvedor das UEPS é o Prof^o.Dr. Marco Antonio Moreira, portanto sugiro a leitura do artigo apresentado por ele como uma leitura complementar.



3. OBJETIVOS

- › Apresentar a Relatividade Especial.
- › Compreender dilatação do tempo.
- › Analisar a contração do comprimento.
- › Estabelecer a relação entre massa e energia.
- › Criar pontes entre conceitos subsunçores e novos conhecimentos.

4. SEQUÊNCIA

Considerando o assunto que visa ser abordado nesta UEPS, os itens que compõe a estrutura característica dela, que foi exposta anteriormente, são elaborados da seguinte maneira:

4.1. TÓPICOS A SEREM ABORDADOS

Para iniciar a aula serão apresentados os tópicos:

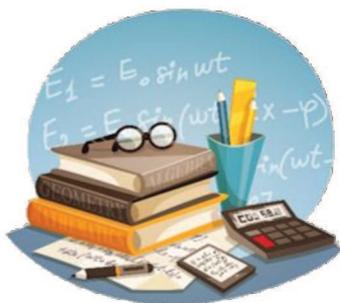
- Relatividade Especial
- Relatividade nos Intervalos de Tempo
- Relatividade do Comprimento
- Energia Relativística

Ao apresentar os tópicos a serem abordados deve-se também apresentar objetivos desta UEPS.

Toda a sequência será apresentada com o auxílio da apresentação de slides disponível no link <https://is.gd/Apresentacao> (Este material encontra-se dividido de acordo com cada item que compõe esta UEPS).



Acesse via QR Code - Apresentação



Dica Extra!

Caro(a) Professor(a), tome cuidado com o uso de apresentações de slides, pois existe uma linha tênue que ao ser ultrapassada pode transformar sua UEPS num método tradicional de ensino. Neste trabalho, a apresentação serve apenas como um norteador para indicar cada nova atividade que se inicia.



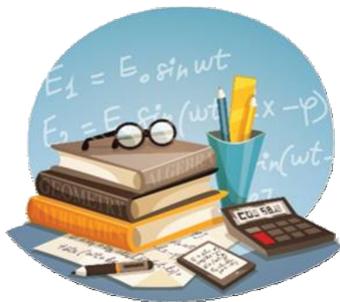
Tempo Previsto

1ª Aula
5 minutos

4.2. SITUAÇÃO INICIAL

Deve-se propor aos alunos, que de forma individual, realizem a atividade de sondagem de subsunçores a fim de verificar se existe algum conhecimento que eles associam à Relatividade Especial.

Todas as respostas serão anotadas para que posteriormente se possa fazer uma análise delas. Neste momento o interessante é deixar que os alunos escrevam e falem o que pensam sobre o assunto para que esses conceitos possam ser refinados futuramente e vinculados a subsunçores.



Dica Extra!

- Uma sugestão interessante é criar com os alunos um Diário de Bordo, assim eles podem manter registrado todas as situações trabalhadas bem como expressar suas opiniões para posterior avaliação. Com o diário como um instrumento de registro da experiência pedagógica pode-se verificar a evolução dos argumentos dos alunos ao longo da UEPS.
- Outra estratégia que pode ser utilizada é criar um mapa conceitual. Ele pode ser desenvolvido na Situação Inicial e posteriormente a Apresentação dos Conteúdos, assim possibilitando a verificar a evolução dos argumentos.

O desenvolvimento desta etapa está roteirizado no **Material de Apoio I** e também está disponível no link <https://is.gd/SituacaoInicial>.



Acesse via QR Code - Situação Inicial



Tempo Previsto

1ª Aula
40 minutos

4.3. SITUAÇÃO-PROBLEMA

O objetivo desta situação é introduzir a viabilidade de realizar ou não o teletransporte. Para montar esta situação temos como base um trecho da série “*Star Trek: Discovery*”. As discussões realizadas a partir deste trecho são apresentadas no **Material de Apoio II** ao final desta UEPS. Você encontra este material através do link <https://is.gd/SituacaoProblema>.



Acesse via QR Code - Teletransporte de Star Trek



Sugestão de Leitura

Uma dica de leitura interessante para se trabalhar este assunto é o livro *A Física de Jornada nas Estrelas* de **Lawrence M. Krauss**. Nele você encontra informações adicionais sobre o teletransporte e sobre outras tecnologias apresentadas pela série.



Tempo Previsto

2ª Aula
40 minutos

4.4. APRESENTAÇÃO DOS CONTEÚDOS

Levando em conta os itens anteriores, nesta etapa será feita a apresentação oral dos conteúdos a serem trabalhados. É importante neste momento fazer a retomada dos conhecimentos que os alunos expuseram na sondagem de subsunçores sobre o que eles entendem por Relatividade Especial. A apresentação do conteúdo será realizada de forma dialogada com os alunos visto que alguns conceitos podem trazer a mente outros conhecimentos que eles tenham para compartilhar.

4.4.1. INTRODUÇÃO DOS ASPECTOS FÍSICOS

Para o desenvolvimento desta etapa da sequência é importante solicitar aos alunos que assistam em casa o vídeo [Special Relativity: Crash Course Physics #42](#) (8m58s) que destaca Albert Einstein como responsável por fundamentar a Relatividade Especial através de alguns postulados.



Dica Extra!

O vídeo introdutório se encontra em língua inglesa, porém uma sugestão de modificação para essa situação é que o professor produza os próprios vídeos. Essa ação permite uma aproximação maior entre o conteúdo e os alunos, pela familiaridade com a didática do próprio professor.

Esta preparação é acompanhada do **Material de Apoio III** onde o aluno irá responder a um questionário com o objetivo de fortalecer alguns conhecimentos que podem ser obtidos com este vídeo. Posteriormente os alunos serão instigados a externalizar esses conhecimentos em sala.



Dica Extra!

Professor(a), mesmo que os alunos assistam ao vídeo em casa, é recomendado que no início da 3ª aula, ele seja revisto em sala com toda a turma, assim pode-se realizar alguns comentários, caso necessário, antes de prosseguir com a UEPS.

O questionário pode ser encontrado através do link <https://is.gd/AspectosIniciais>.



Acesse via QR Code - Aspectos Iniciais (Questionário)



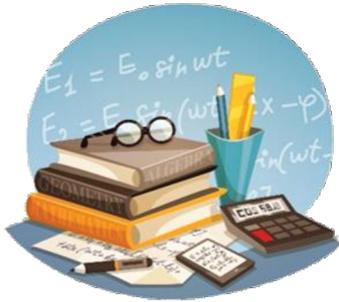
Tempo Previsto

2ª Aula

5 minutos

4.4.2. RELATIVIDADE GALILEANA X RELATIVIDADE ESPECIAL

É necessário neste ponto que seja muito bem fundamentado e explorado o conceito de referencial inercial, pois ele é essencial no prosseguimento da UEPS. Utilizando a apresentação de slides, disponibilizada anteriormente, como suporte, podemos apresentar aos alunos o que é de fato a Relatividade. Como o vídeo proposto para ser assistido em casa apresenta uma comparação entre a Relatividade de Galileu e a Relatividade Especial é importante levantar uma discussão com os alunos sobre qual a área de domínio de cada uma.



Dica Extra!

- Busque apresentar aos alunos as transformações de Galileu e de Lorentz através de um tratamento matemático. Como sugestão você pode verificar a dissertação que deu origem a esta UEPS.
- Mostre também o porquê de se revisitar a Relatividade Galileana após quase três séculos de sua criação. Você pode criar em conjunto com os alunos uma linha do tempo, ressaltando as contribuições que levaram ao desenvolvimento da Relatividade Especial. Como recurso digital você pode utilizar o site [Time Graphics](#). Outra sugestão de atividade para essa discussão é utilizar a **Experiência de Michelson-Morley**.

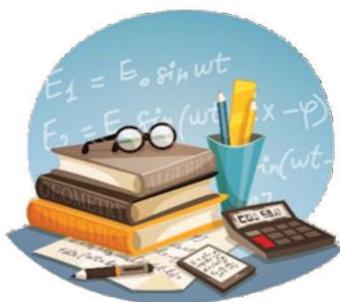


Tempo Previsto

3ª Aula
20 minutos

4.4.3. SIMULTANEIDADE

Outro elemento chave que deve ser abordado é a simultaneidade dos eventos. É importante neste momento trazer exemplos de fácil compreensão para que os alunos consigam internalizar este conhecimento. Para estimular o processo de aprendizagem sobre simultaneidade vamos utilizar a [simulação](#) criada pelo projeto Física Vivencial. Através deste objeto de aprendizagem pode-se modificar a posição de um observador e verificar a simultaneidade dos eventos.



Dica Extra!

A simultaneidade pode ser trabalhada através de experiências mentais ou práticas, procure utilizar exemplos do cotidiano dos alunos, assim você permite a eles que estabeleçam subsunçores para este conhecimento. Uma sugestão seria posicionar dois alunos em locais diferentes dentro da sala de aula e pedir que um terceiro se movimentasse. Após isto solicite aos dois primeiros alunos que descrevam o que ocorreu. É esperado que os dois não concordem quanto aos eventos de partida e chegada do terceiro.



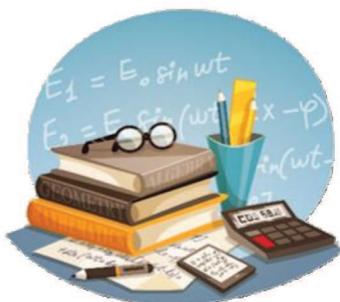
Tempo Previsto

3ª Aula
25 minutos

4.4.4. DILATAÇÃO TEMPORAL

Depois de explanar sobre a essência da Relatividade Especial vamos abordar a dilatação do tempo, para isso podemos fazer uma análise de um aparente paradoxo da Relatividade Especial: o Paradoxo de Gêmeos.

Para desenvolver esta etapa será utilizado como base o vídeo “[Complete Solution To The Twins Paradox](#)” sendo que o mesmo desenvolvimento para a solução do aparente paradoxo será apresentado em sala de aula com o uso do quadro branco, onde o professor irá demonstrar a solução. É importante ressaltar que essa abordagem pode ser feita usando qualquer ferramenta, inclusive o quadro branco. Neste momento é importante que o aluno seja instigado a participar.



Dica Extra!

Lembre-se que de acordo com princípio da aprendizagem significativa crítica proposta por Moreira (2017) (Veja a indicação de leitura abaixo), o foco aqui não é no treinamento para repetição, mas sim numa abordagem reflexiva, dialogada e voltada à análise de um problema físico importante. Portanto, neste momento, é essencial que o aluno seja instigado a participar.



Sugestão de Leitura

Para saber mais sobre a Aprendizagem Significativa Crítica proposta por Marco Antonio Moreira, sugiro a você a leitura do livro escrito por ele e intitulado **Teorias de Aprendizagem** que teve sua 2ª edição publicada em 2017.

Após explicar a viagem realizada por um astronauta é essencial que possamos generalizar a situação tendo como base o que Einstein chamou de “Hipótese do Relógio” que demonstra que em cada instante a dilatação do tempo é afetada somente pelo módulo da velocidade instantânea relativa entre dois referências.



Sugestão de Leitura

Você encontra mais detalhes sobre a Hipótese do Relógio na seção 2.4 do artigo **Dilatação do tempo, referenciais acelerados e o paradoxo dos gêmeos** de autoria de Gabriel B.R.L. de Freitas e André H. Gomes.



Com a generalização podemos apresentar formalmente aos alunos a equação de dilatação temporal retratada no vídeo de apresentação do assunto, além disso, é importante motivar o estudo desse paradoxo em termos da estrutura espaço-tempo.



Dica Extra!

- Lembre-se que anteriormente, na relatividade Galileana, o espaço e o tempo eram trabalhados de forma independente um do outro, mas pela Relatividade Especial eles estão intrinsecamente conectados e é isso que devemos incutir no aluno.
- Não esqueça de sempre apresentar as relações entre o que já foi trabalhado e o que está sendo apresentado. Isso é importante para que os subsunçores se estabeleçam.
- Apresente aos alunos um exemplo de desenvolvimento que os leva a equação da dilatação temporal e ao mesmo tempo como esta equação se reduz a Transformação de Galileu a baixas velocidades.



Tempo Previsto

4ª Aula

45 minutos

4.4.5. CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

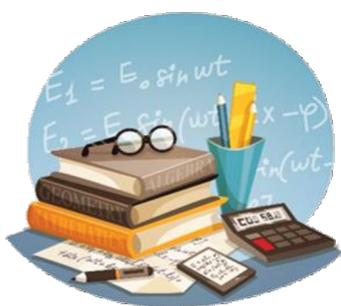
O próximo passo é trazer o diálogo sobre a contração do comprimento. A apresentação da equação associada a esta contração é realizada neste momento.

Utilizando como base o vídeo “[Impossible Muons](#)” e o site “[A Vida do Múon](#)” (disponibilizado pelo IFGW-Unicamp) para desenvolver esta atividade, será proposto que os alunos investiguem através de um roteiro analítico-investigativo (**Material de Apoio IV**), tanto a dilatação do tempo, já trabalhada com o paradoxo de gêmeos, quanto a contração do comprimento no caminho percorrido por múons (μ) a partir da atmosfera até chegar a superfície da Terra.

Acesse o material pelo link <https://is.gd/ViagemdosMuons>.



Acesse via QR Code - A Viagem dos Múons



Dica Extra!

- Desenvolva um exemplo para apresentar aos alunos a equação da contração do comprimento, uma sugestão possível está disponível na dissertação que deu origem a este produto. Cabe destacar aos alunos que a contração é real, porém a visualização de um objeto é mais bem explicada pelo efeito Terrell-Penrose.
- Durante a situação-problema sobre os múons é importante que os alunos consigam comparar os resultados obtidos com os resultados esperados caso a Relatividade Especial não fosse válida.



Brasileiro na Ciência!

Professor(a) aproveite esta atividade para destacar o trabalho de um grande cientista brasileiro, **César Lattes**. Ele foi o descobridor de uma nova partícula atômica, o **píon**, sendo que esta, se desintegra na atmosfera formando o múon.



Tempo Previsto

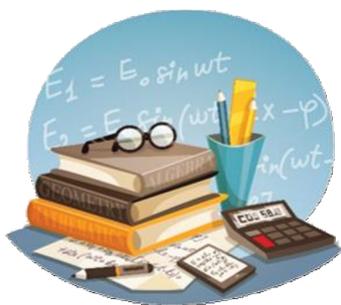
5ª Aula
45 minutos

4.4.6. ENERGIA RELATIVÍSTICA

Após expor a dilatação do tempo e a contração do comprimento vamos falar sobre a relação entre massa e energia.

A introdução deste tópico pode ser feita com a reportagem “[Cientistas propõem método para transformar luz em matéria](#)”. Depois de mostrar aos alunos a famosa equação $E = m \cdot c^2$ pode-se utilizar o [objeto de aprendizagem](#) que relaciona a energia de repouso de alguns corpos com sua estimativa de situação energética equivalente.

Aproveitamos este momento para trazer à tona alguns dos elementos trabalhados na situação-problema sobre o teletransporte, visto que esta situação aborda a possibilidade de transformar massa em energia para seu transporte através do espaço. Esta ligação é fundamental já que se espera que a análise do teletransporte se torne um subsunçor.



Dica Extra!

É importante verificar nesse momento as colocações dos alunos e comparar com as anteriores para ver se houve evolução dos argumentos.



Tempo Previsto

6ª Aula
45 minutos

4.5. NOVA SITUAÇÃO-PROBLEMA

Após a explanação sobre os principais tópicos que giram em torno da Relatividade Especial os alunos devem ser capazes de seguir uma atividade investigativa sobre o processo de fissão nuclear e sua relação com a energia relativística.

Os alunos poderão avaliar o potencial energético apresentado por esse processo ao comparar com a produção de energia a partir do carvão. O desenvolvimento desta situação é encontrado no **Material de Apoio V**. A atividade deve ser feita de forma individual, porém o desenvolvimento da planilha pode ser feito em grupos devido a limitação de computadores.

Você encontra esta atividade de forma online pelo link <https://is.gd/FissaoNuclear>.

An illustration of a hand holding a smartphone with a QR code on the screen, next to a larger QR code. The background is orange.

Acesse via QR Code - Fissão Nuclear

A large black and white QR code on a yellow background.An icon of a purple alarm clock with a white face and black hands.

Tempo Previsto
7ª Aula
45 minutos

4.6. AVALIAÇÃO SOMATIVA INDIVIDUAL

Será avaliada a aquisição de conhecimento do aluno através de questões abertas envolvendo o conteúdo abordado, não focando em questões do tipo “certo ou errado” (**Material de Apoio VI**). Acesse a avaliação pelo link <https://is.gd/AvaliacaoSomativa>.

An illustration of a hand holding a smartphone with a QR code on the screen, next to a larger QR code. The background is orange.

Acesse via QR Code - Avaliação Somativa

A large black and white QR code on a yellow background.

É necessário que os alunos tenham internalizado os conceitos-chave da sequência para que a construção do conhecimento seja significativa. Portanto esta avaliação será composta por 5 questões, sendo que cada questão abordará um tópico trabalhado:

- Espaço e Tempo x Espaço-Tempo
- Simultaneidade de Eventos
- Dilatação Temporal
- Contração do Comprimento
- Massa e Energia



Dica Extra!

É importante ressaltar aos alunos que todo esse processo constitui uma nota que é creditada à disciplina, sendo assim a avaliação somativa individual é parte dela. Ao mesmo tempo tome cuidado para que o processo não deixe de ser significativo e que os alunos estejam realizando as atividades apenas por notas.



Tempo Previsto

8ª Aula
45 minutos

4.7. AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

A avaliação da aprendizagem será realizada durante a aplicação da UEPS, registrando tudo que possa servir de evidência para uma aprendizagem significativa como avaliação formativa. A avaliação da aprendizagem se dará através da análise dos seguintes critérios:

| ASPECTO | AVALIAÇÃO | NOTA | PESO | TOTAL |
|-------------------|---------------------------------------|------|------|-------|
| QUALITATIVO | Sondagem de Subsunçores | | 1,0 | |
| QUALITATIVO | Teletransporte de Star Trek | | 1,0 | |
| QUALITATIVO | Questionário de Verificação | | 1,0 | |
| QUANTITATIVO | Viagem dos Múons | | 1,5 | |
| QUANTITATIVO | Fissão Nuclear | | 1,5 | |
| QUANTITATIVO | Somativa Individual | | 2,0 | |
| QUALITATIVO | Evolução de Argumentos / Participação | | 2,0 | |
| Nota Final | | | | |

Note que esta UEPS visa uma aprendizagem significativa, sendo assim, a avaliação possui tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos e que cada um desses aspectos é responsável por 50% da composição da nota final que é creditada a disciplina.

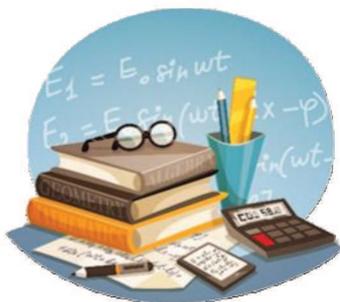
É de suma importância que o professor, ciente das limitações e potencialidades dos seus alunos, que apresente imparcialidade na atribuição de notas nas avaliações qualitativas.

4.8. AVALIAÇÃO DA UEPS

A avaliação da UEPS é realizada pelo professor e pelos alunos com o intuito de verificar se ela foi eficiente no seu papel de desenvolver uma aprendizagem significativa e crítica. O questionário para avaliação da UEPS é encontrado no **Material de Apoio VII** ou pelo link <https://is.gd/AvaliacaoUEPS>.



Acesse via QR Code - Avaliação da UEPS



Dica Extra!

Caro(a) Professor(a), envie o formulário para os alunos via online, isso permite um melhor gerenciamento das respostas. Como sugestão utilize o [Google Forms](#). Mesmo que modifique o questionário apresentado como sugestão, mantenha um campo para que os alunos possam comentar caso julguem necessário. Utilize os dados obtidos para validar a aplicação e realizar melhorias.



Tempo Previsto

Atividade realizada em casa após a aplicação da 8ª aula

5. MATERIAIS DE APOIO

Estes materiais, citados nos itens anteriores, tem a finalidade de apoiar o professor no processo de ensino ao longo desta UEPS.

5.1. MATERIAL DE APOIO I

SONDAGEM DE SUBSUNÇORES

Esta atividade tem como objetivo trazer à tona conhecimentos prévios que os alunos podem ter com relação ao assunto de Relatividade Especial. Como motivador desta atividade será apresentado um trecho do episódio “A Excitação Lunar” [T3E23 | 03m32s – 06m10s] da série *The Big Bang Theory*. Após a exibição do trecho os alunos devem responder à alguns questionamentos, que são propostos abaixo, e logo mais pode-se fazer um compartilhamento dos dados. Neste compartilhamento o professor deve fazer as correções necessárias para que os subsunçores estejam bem estabelecidos a fim de que o processo seja significativo ao final da UEPS.

1. Qual a maior velocidade que se conhece na atualidade?
2. Qual a velocidade de propagação da informação no vácuo?
3. Existe na natureza algo que possua uma velocidade superior à da luz?
4. É possível estimar a distância até a Lua considerando o tempo apresentado no vídeo e a velocidade da luz? Se sim, calcule a distância.
5. A velocidade média de um foguete A em direção a Lua é de cerca de 28.440km/h e de um foguete B é de 90% a velocidade da luz. Considerando estes dados, a distância medida pelos pilotos será a mesma para os dois foguetes? Justifique.
 - É importante ressaltar aos alunos que não se trata de dar resposta certa ou errada, visto que o objetivo é verificar os conhecimentos apresentadas por eles sobre o assunto, sendo assim, os alunos farão a atividade de forma individual.
 - As questões serão discutidas com toda a turma após o registro ser realizado na folha de respostas disponível neste material de apoio.
 - Para esta etapa são destinados 40 minutos da aula 1.

- Fazendo uso das respostas registradas da discussão levantada em sala, o professor pode verificar quais as possíveis fontes destes conhecimentos prévios e quais poderão ser utilizados como subsunçores nas próximas etapas da UEPS.

Professor: _____

Disciplina: _____

Aluno: _____

Série: _____ Data: _____

SONDAGEM DE SUBSUNÇORES

“The Big Bang Theory”

Apresente suas respostas abaixo para a atividade proposta.

1. Qual a maior velocidade que se conhece na atualidade?

2. Qual a velocidade de propagação da informação no vácuo?

3. Existe na natureza algo que possua uma velocidade superior à da luz?

4. É possível estimar a distância até a Lua considerando o tempo apresentado no vídeo e a velocidade da luz? Se sim, calcule a distância.

5. A velocidade média de um foguete A em direção a Lua é de cerca de 28.440km/h e de um foguete B é de 90% a velocidade da luz. Considerando estes dados, a distância medida pelos pilotos será a mesma para os dois foguetes? Justifique

5.2. MATERIAL DE APOIO II

“LEVE-ME PARA CIMA”

O Teletransporte de Star Trek

Para o criador de Star Trek, Gene Roddenberry, existia um problema a ser resolvido em sua criação, e não se tratava apenas das aventuras vividas pelos personagens Kirk ou Spock. Viajar com a USS Enterprise pelo espaço era algo fácil de fazer, porém pousar esta grande espaçonave nos mais diversos planetas da galáxia seria um grande desafio. É como meio de solucionar este desafio que surge o TELETRANSPORTE, um meio de enviar os tripulantes ao solo sem necessidade de pousar a nave. O teletransporte é responsável por “desmaterializar” os tripulantes e os “reconstituir” em outro lugar. Porém o quanto dessa tecnologia é real? E em que ponto a física encontra a ficção?

Baseado no trabalho desenvolvido por Souza (2017), para iniciar a análise desta situação, será apresentado aos alunos um trecho do episódio “Luz e Sombras” [T2E07 | 29m00s – 29m58s] da série Star Trek: Discovery, que mostra o teletransporte de alguns personagens.

Átomos ou bits? O que realmente podemos teletransportar? Para mover pessoas pelo espaço, vamos mover seus átomos ou apenas sua informação? Essas são questões que os alunos irão discutir.

Extrair as informações que compõem uma pessoa já seria difícil, mas recombinar essas informações com a matéria que deve constituir um ser humano seria algo ainda mais difícil. Segundo Krauss (1996, p. 64),

[...] o *Next Generation Technical Manual (Manual Técnico da Nova Geração)* descreve o processo em detalhes: primeiro, o teletransporte trava no alvo; depois, esquadrinha a imagem a ser transportada, "desmaterializa-a" e armazena-a em um "buffer de padrões" por um tempo, para então transmitir o "fluxo de matéria" em um "raio de confinamento anular" até seu destino. Aparentemente, o teletransporte envia a matéria junto com a informação.

Porém esse “fluxo de matéria” é falho em alguns episódios da série quando personagens são duplicados. Se a matéria é desconstituída e enviada, como poderiam surgir dois seres iguais a partir da mesma quantidade de átomos? É impossível, pois o número de átomos no início deve ser o mesmo que no final.

Se somente as informações (bits), a “receita” de como os átomos estão organizados, fossem enviadas, sua consciência e memórias iriam com você? Essa é uma questão que pode levar a uma pequena troca de ideias visto que é um assunto tangente ao transporte de matéria.

Considerando o envio somente de informações teríamos um outro problema. Se apenas a informação deve ser transportada, então os átomos no ponto de origem precisam ser dispensados e um novo conjunto tem de ser recolhido no ponto de destino. Esse é um problema bastante grave (KRAUSS, 1996).

Para finalizar vamos considerar agora o envio de massa junto ao raio de teletransporte e a famosa equação de Einstein sobre a equivalência massa-energia ($E = m \cdot c^2$), qual seria a energia necessária para o envio de um ser humano de 50kg?

Krauss (1996, p. 66) nos responde esta pergunta da seguinte forma,

Se precisamos transmitir 10^{28} átomos, temos um grande desafio pela frente. Digamos, por exemplo, que precisamos simplesmente transformar essa matéria em energia pura. Quanta energia teríamos? Bem, a fórmula de Einstein $E = m \cdot c^2$ nos dá o resultado. Se transformássemos 50 kg (um adulto leve) de matéria em energia, desencadearíamos a energia equivalente a pouco mais de mil bombas de hidrogênio de 1 megaton. É difícil imaginar como fazer isso de uma maneira não agressiva ao ambiente.

Mas afinal o teletransporte é possível na realidade? Leia o texto abaixo.

FÍSICOS ANUNCIAM TELETRANSPORTE DE MATÉRIA

Cientistas da Áustria anunciaram a comprovação experimental de que é possível fazer um corpo ser "teletransportado", isto é, desaparecer em um local e aparecer em outro, segundo estudo publicado na edição de hoje da revista científica britânica "Nature".

O desenvolvimento de técnicas e de estudos a partir dessa experiência poderá permitir no futuro que corpos mais complexos, como átomos, moléculas e até microrganismos, sejam desintegrados e recompostos em outro local, segundo Anton Zeilinger, um dos autores do estudo.

"Mas estamos ainda muito longe de podermos transferir corpos complexos como seres humanos", disse Zeilinger. "Isso, por enquanto, só será possível em ficção científica", afirmou.

Os seis pesquisadores do Instituto de Física Experimental da Universidade de Innsbruck conseguiram reproduzir à distância um fóton com as mesmas características de outro, que

Zeilinger chamou de capitão Kirk, em alusão ao personagem do filme e série de televisão "Jornada nas Estrelas".

Fonte: TUFFANI, MAURÍCIO. Físicos anunciam teletransporte de matéria. **Folha de S.Paulo:** Ciência, São Paulo, n.p., 11 dez. 1997. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe111201.htm>. Acesso em: 8 mar. 2019.

RESUMO DOS QUESTIONAMENTOS

Em resumo, os questionamentos que serão realizados nesta atividade serão os seguintes:

1. Átomos ou bits? O que realmente podemos teletransportar? Para mover pessoas pelo espaço, vamos mover seus átomos ou apenas sua informação?
2. Considerando o envio de massa junto ao raio de teletransporte e a famosa equação de Einstein sobre a equivalência massa-energia ($E = m \cdot c^2$), qual seria a energia necessária para o envio de um ser humano de 50kg?
3. Afinal de contas o teletransporte é possível na realidade?

A discussão desta situação problema será registrada através de gravação de áudio.

REFERÊNCIAS

KRAUSS, Lawrence M. **A Física de Jornada nas Estrelas - Star Trek**. São Paulo: Makron Books, 1996.

SOUZA, Wagner de. UM EXEMPLO DE ATIVIDADE DIDÁTICO-PEDAGÓGICA DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO USANDO “STAR TREK”. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - CONEDU, IV., 2017, João Pessoa. **Anais IV CONEDU** [...]. Campina Grande: Realize Eventos Científicos & Editora, 2017. Tema: Ensino de Ciências, Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID_2733_05062017152521.pdf. Acesso em: 8 mar. 2019.

TUFFANI, MAURÍCIO. Físicos anunciam teletransporte de matéria. **Folha de S.Paulo:** Ciência, São Paulo, n.p., 11 dez. 1997. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe111201.htm>. Acesso em: 8 mar. 2019.

5.3. MATERIAL DE APOIO III

Professor: _____

Disciplina: _____

Aluno: _____

Série: _____ Data: _____

VÍDEO INTRODUTÓRIO: RELATIVIDADE ESPECIAL

Questionário de Verificação

Assista ao vídeo [Special Relativity: Crash Course Physics #42](#) e responda ao questionário abaixo. Este vídeo possui áudio em inglês, porém você pode optar por gerar legendas em português. Assista quantas vezes forem necessárias.

- 1) Quando o trem de Bob se movimenta com $0,5c$ (50% da velocidade da luz) e na frente deste trem há um farol com a luz viajando a sua própria velocidade, você como um observador em uma plataforma irá observar a luz do farol como $1,5c$? Justifique.

- 2) Por que a Teoria da Relatividade é chamada de Especial?

- 3) Quais os dois postulados da Relatividade Especial? Descreva cada um deles.

4) Considerando os aspectos referentes a Relatividade Especial, o que você pode afirmar sobre simultaneidade?

5) A contração do comprimento acontece para objetos que se movem a velocidades muito menores que a da luz?

6) Na discussão apresentada no vídeo, a ideia de tempo e espaço absoluto perdem sentido na relatividade especial. Justifique por quê.

5.4. MATERIAL DE APOIO IV

Professor: _____

Disciplina: _____

Aluno: _____

Série: _____ Data: _____

A VIAGEM DOS MÚONS

A Contração do Espaço e a Dilatação do Tempo

Com o intuito de verificar através de um roteiro analítico-investigativo a contração do espaço e a dilatação do tempo vamos estudar a detecção de múons ao nível do mar.

Iremos observar que a abundância de múons na superfície da Terra só pode ser explicada com o uso das equações relativísticas.

Primeiramente vamos descobrir qual a origem dessas partículas!

MÚONS DA RADIAÇÃO CÓSMICA

Continuamente, os raios cósmicos, que são constituídos majoritariamente por prótons e núcleos leves que viajam no espaço a velocidades próximas à da luz, entram na atmosfera terrestre e interagem com seus elementos, dando assim início a um processo de produção de partículas em cascata, que dá origem a milhares de partículas secundárias.

Neste processo de cascata são então produzidas partículas chamadas de píons, sendo que eles podem ser neutros (π^0) e carregados (π^+ e π^-). Os píons carregados interagem com os átomos da atmosfera assim como também sofrem decaimento e se transformam em múons (outra partícula), que podem ser positivos (μ^+) ou negativos (μ^-), segundo o seguinte esquema:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

A partícula múon foi descoberta em 1937 por J. C. Street e E. C. Stevenson, e simultaneamente por a Carl D. Anderson e Seth Neddermeyer, através de experimentos utilizando a radiação cósmica.

O múon é uma partícula carregada instável que acaba se transformando em outras partículas. Sendo assim, ele possui um tempo de estabilidade, este tempo é chamado de vida média e no caso do múon sua vida média é de 2,197 μs [lê-se microssegundo] ($2,197 \cdot 10^{-6}\text{s}$).

Por serem partículas, os múons possuem uma massa de repouso, sendo que ela é bem conhecida e vale $105,658 \text{ MeV}/c^2$. (**Você Sabia?** eV (lê-se elétron-volt) é uma unidade de medida para energia e esta unidade pode se relacionar com outras grandezas. No caso da massa, sua relação com elétron-volt vem da equação $E = mc^2$, da teoria da Relatividade Especial que estamos aprendendo, que expressa a equivalência entre massa e energia. Assim, se a energia é medida em elétrons-volt, a unidade de massa pode ser expressa como eV/c^2 .)

A maior parte dos múons é criada a uma altitude de 15 km, possuindo uma velocidade de $0,9998c$ (c = velocidade da luz no vácuo). Esta alta velocidade faz com que o seu tempo de vida no sistema de referência do laboratório seja consideravelmente dilatado.

FONTES:

FAUTH, A.C. et al . Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 585-591, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000400017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 mar. 2019.

IFGW-UNICAMP. A Vida do Múon. São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/2RelatividadeEspecial/2Avidadomuon/Avidadomuon.html>. Acesso em: 7 mar. 2019.

FLÓRIO, Victória. A origem dos raios cósmicos. **Pesquisa - FAPESP**, São Paulo, ed. 260, out. 2017. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/10/25/a-origem-dos-raios-cosmicos/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

É possível verificar através de cálculos qual seria a quantidade de partículas detectadas na superfície da Terra caso a mecânica clássica prevalecesse e com isso pode-se comparar com a quantidade real que atinge os detectores tendo em vista a Relatividade Especial. Para isso vamos começar nossa investigação!

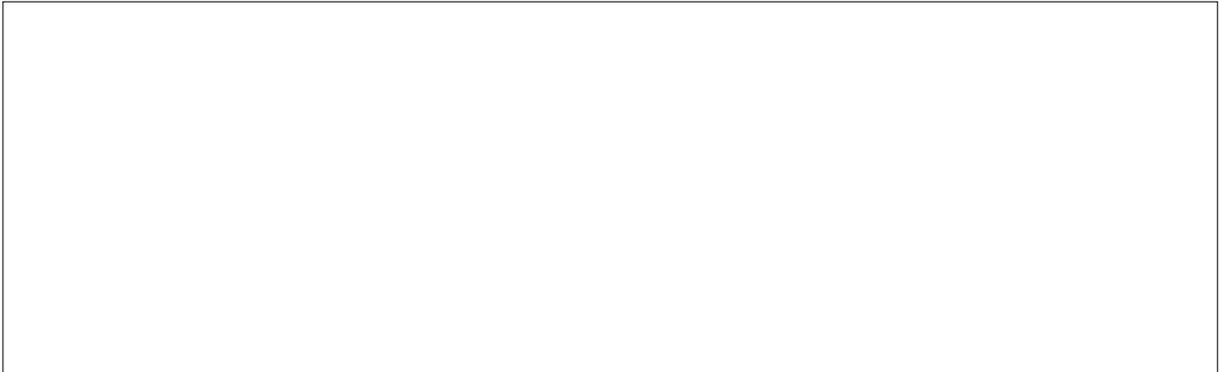
Os passos abaixo têm o intuito de guiá-lo neste roteiro, siga-os e analise os resultados obtidos.

1º Passo: Com base nos dados fornecidos pelo texto “Múons da Radiação Cósmica” vamos descobrir qual seria a quantidade de múons que atingiriam a superfície do planeta caso a mecânica clássica regesse esse domínio. Para iniciar vamos calcular quanto tempo o múon leva para chegar à superfície do planeta utilizando a fórmula da velocidade média:

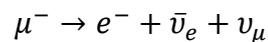
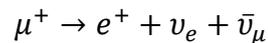
$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Para te ajudar nesse passo há algumas recomendações:

- Considere a velocidade da luz no vácuo sendo $c = 3.10^8$ m/s e lembre-se de verificar no texto qual a velocidade do múon quando comparada a da luz.
- Para o deslocamento considere a altitude na qual os múons são criados.
- Fique atento as unidades de medida que irá empregar na resolução.



2º Passo: O processo pelo o qual os múons se transformam em elétrons (ou pósitrons), neutrinos e antineutrinos é chamada de decaimento e pode ser verificado abaixo:



É possível determinar o número de partículas restantes após um certo tempo de decaimento utilizando-se a lei de decaimentos radioativos:

$$N_{(t)} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Onde:

- $N_{(t)}$ = Número de partículas no tempo t.
- N_0 = Número de partículas no tempo t = 0.
- t = Tempo que as partículas levam para chegar à superfície.
- τ = Tempo de vida média da partícula.

Para concluir este passo e descobrir o número de partículas que chegariam à superfície caso o movimento dos múons obedecesse a mecânica clássica, considere que:

- O número de múons criados no tempo t = 0 foi de 1.10^{12} .
- t será o tempo calculado por você no 1º Passo.
- Considere a vida média (τ) informada no texto “Múons da Radiação Cósmica”.

- Para facilitar a resolução do cálculo com o número de Euler (e) utilize uma calculadora científica ou considere-o como sendo 2,718.

3º Passo: A qual conclusão você pode chegar a partir do resultado obtido no 2º Passo?

4º Passo: Vamos investigar agora a influência da Relatividade Especial sobre o movimento dos múons. Primeiro vamos verificar a influência da dilatação do tempo, para isso vamos utilizar a seguinte fórmula:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Onde:

- Δt_0 é o intervalo de tempo marcado pelo observador em repouso.
OBS: Geralmente usa-se a notação Δt_0 para o intervalo associado a um fenômeno físico que ocorre em uma mesma posição espacial e chama-se de **intervalo de tempo próprio**. Segundo a equação apresentada acima, o intervalo de tempo próprio entre dois eventos físicos é menor do que o intervalo de tempo transcorrido entre os mesmos dois eventos medido em qualquer outro referencial inercial (RIFFEL, 2010).
- Δt é o intervalo de tempo marcado pelo observador em movimento.
- v é a velocidade do observador em movimento.
- c é a velocidade da luz no vácuo.

A vida média do múon é de $2,197 \cdot 10^{-6}$ s segundo o texto “Múons da Radiação Cósmica”, porém temos que considerar que o múon se move com uma velocidade muito próximo a da luz, sendo

esta velocidade $v = 0,9998c$, portanto calcule qual será a vida média desta partícula para um observador em repouso utilizando a fórmula apresentada anteriormente, considere que:

- Para o múon em movimento o tempo de decaimento (Δt) não sofre modificação.
- Para o observador em repouso o tempo de decaimento será Δt_0 .

Agora que você já sabe qual a vida média do múon para um observador em repouso repita o 2º Passo e altere este dado para descobrir qual a quantidade de partículas que chegam à superfície.

5º Passo: Qual a quantidade de múons que chegam à superfície considerando a dilatação temporal? Existe alguma diferença entre a quantidade de múons que são detectados quando comparados os dados do 2º e 4º Passos?

6º Passo: Vamos analisar o movimento dos múons sob a ótica da contração do comprimento e verificar os dados obtidos. Para isso é apresentada a fórmula relativística para a contração do comprimento:

$$\Delta L = \Delta L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Onde:

- ΔL é o comprimento para o observador em repouso.
- ΔL_0 é o comprimento para o observador em movimento.

OBS: ΔL_0 é denominado **comprimento próprio** é medido no referencial em que o objeto se encontra em repouso (RIFFEL, 2010).

- v é a velocidade do observador em movimento.
- c é a velocidade da luz no vácuo.

Calcule agora qual o comprimento visto pelo observador em repouso para o movimento do múons, considere que:

- ΔL_0 é o comprimento da trajetória descrita pelo múon desde sua criação até a superfície do planeta.

Considerando o comprimento visto pelo observador repita o 1º Passo e descubra o tempo que o múon leva para chegar à superfície.

Após calcular o tempo, repita o 2º passo e descubra o número de múons que chegam à superfície considerando seu movimento relativístico e verifique se a quantidade obtida coincide ou não com o valor encontrado no 4º Passo.

7º Passo: Quais conclusões você pode tirar considerando os dados calculados neste roteiro?

REFERÊNCIAS

FAUTH, A.C. et al. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 29, n. 4, p. 585-591, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000400017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 mar. 2019.

FAUTH, Anderson Campos; GROVER, Artur Chiaperini; CONSALTER, Daniel Martelozo. Medida da vida média do múon. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 4, 2010. Disponível em: <http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/324502.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

FLÓRIO, Victória. A origem dos raios cósmicos. **Pesquisa - FAPESP**, São Paulo, ed. 260, out. 2017. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/10/25/a-origem-dos-raios-cosmicos/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

IFGW-UNICAMP. A Vida do Múon. São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/2RelatividadeEspecial/2Avidadomuon/Avidadomuon.html>. Acesso em: 7 mar. 2019.

PARTICLE DATA GROUP. **2018 Review of Particle Physics**: Leptons - Muon. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://pdg.lbl.gov/2018/listings/rpp2018-list-muon.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

RIFFEL, Rogemar André. **Uma Introdução a TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL**. Santa Maria, julho 2010. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/rogemar/docs/relatividade.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

TANABASHI, Masaharu *et al.* (Particle Data Group). Review of Particle Physics. **Physical Review**, Califórnia, v. 98, n. 3, p. 36, 2018. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/pdf/10.1103/PhysRevD.98.030001>. Acesso em: 24 mar. 2019.

5.5. MATERIAL DE APOIO V

Professor: _____

Disciplina: _____

Aluno: _____

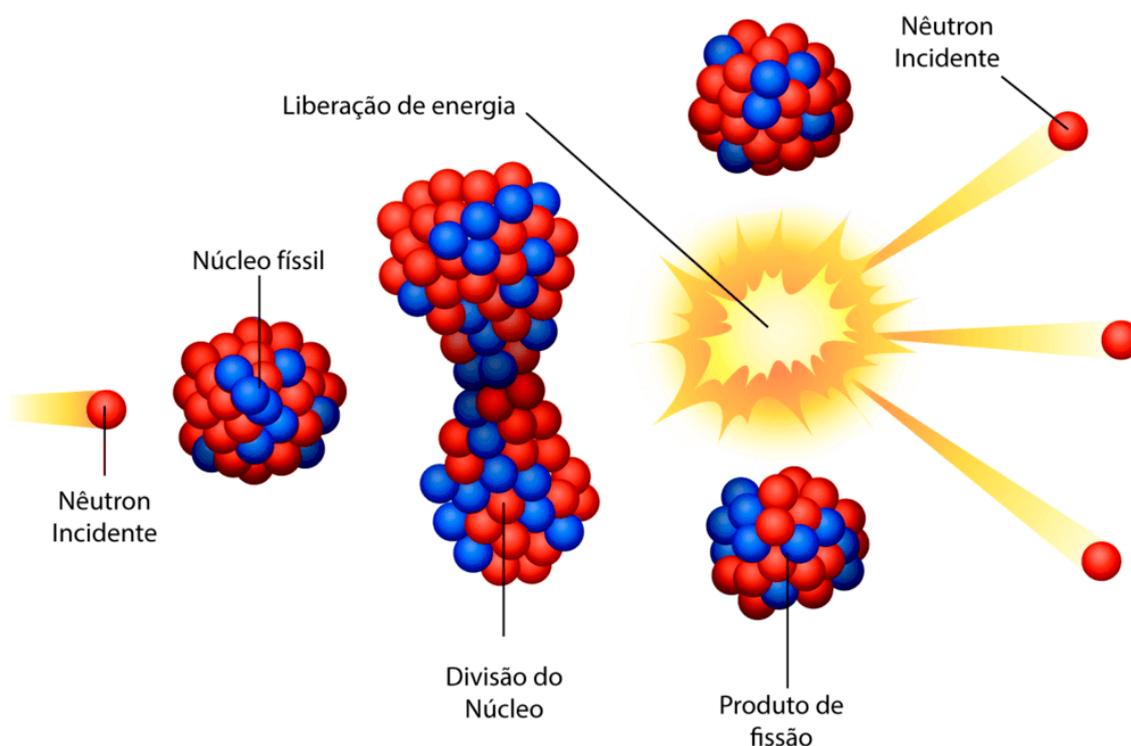
Série: _____ Data: _____

FISSÃO NUCLEAR: CADÊ A MASSA QUE ESTAVA AQUI?

A grande quantidade de energia liberada num processo de fissão nuclear é explicada pela sua relação direta com a Relatividade Especial.

O processo de fissão nuclear consiste na quebra de um núcleo atômico pesado quando este é bombardeado com nêutrons. A quebra deste núcleo forma elementos com núcleos menores e libera outros nêutrons que irão atingir outros átomos de núcleos pesados, gerando uma reação em cadeia (**Figura 1**).

Figura 1 - Reação de Fissão Nuclear



FONTE: Maria (2019).

Em uma usina de energia nuclear essa reação é controlada por barras de moderador de nêutron (normalmente de carbono grafite, cádmio ou água pesada), elas absorvem os nêutrons e não sofrem fissão.



SAIBA MAIS!

A falha num processo de contenção, ou controle, da energia produzida numa usina nuclear pode ser catastrófica. Os resultados de um acontecimento assim podem ser vistos em um dos mais famosos acidentes nucleares da história, o da usina de Chernobyl. Recentemente essa história foi retratada na minissérie homônima do canal HBO. Todos os efeitos e consequências do acidente são retratados através de fatos verídicos com a inclusão de alguns elementos artísticos. Assista ao [trailer](#) (CHERNOBYL, 2019) da produção que possui uma das melhores avaliações da crítica especializada.

A energia nuclear também tem utilidade na indústria bélica para a produção de bombas nucleares, que funcionam com o mesmo princípio aplicado nas usinas, porém nas bombas toda a energia é liberada de forma descontrolada.

Segundo Oliveira (2015), até os dias de hoje a criação da bomba atômica é associada a Einstein. Essa associação se deve principalmente por causa da sua famosa equação $E = m \cdot c^2$, onde massa e energia se relacionam. Através desta equação pode-se perceber que uma pequena quantidade de massa equivale a uma grande quantidade de energia visto que a constante de proporcionalidade entre ela é a velocidade da luz.

ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Baseado em Neto et al. ([20--]), proponho agora a você que verifiquemos a quantidade de energia liberada num processo de fissão nuclear do elemento Urânio-235 através de uma análise da relação relativística massa-energia. Assista à [animação](#) criada como objeto de aprendizagem para obra “Física Vivencial”. A reação apresentada na animação pode ser observada na imagem abaixo, ela servirá de apoio para o desenvolvimento desta atividade.

2º) Abra o Excel e monte uma tabela de acordo com o proposto abaixo:

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-----------------------------|------------------|---|-----------------|---|---|
| 1 | Reação | REAGENTES | | PRODUTOS | | |
| 2 | | A | B | C | D | E |
| 3 | Coeficiente Estequiométrico | | | | | |
| 4 | Massa (u) | | | | | |
| 5 | Massa Total (u) | | | | | |
| 6 | Massa (Kg) | | | | | |
| 7 | Massa Total (Kg) | | | | | |
| 8 | Variação de Massa (Kg) | | | | | |
| 9 | Velocidade da Luz (m/s) | | | | | |
| 10 | Energia Liberada (J) | | | | | |

Agora vamos inserir os dados necessários para que possamos continuar com nossa investigação.

- Na linha 2 observe que são representados A, B, C, D e E, ao invés dessa representação você deve preencher com os participantes das reações que você identificou no 1º passo.
- Na linha 3 preencha o coeficiente estequiométrico de cada um dos participantes, lembre-se que você deve usar os dados obtidos da equação balanceada.
- Na célula B5 inclua a seguinte fórmula **=B3*B4**, assim você irá obter a massa total em unidades de massa atômica (u) após preencher a linha 4. Arraste a fórmula para as colunas do lado.
- Na célula B6 você irá fazer a conversão de massa de unidade de massa atômica (u) para quilograma (Kg), para isso insira a seguinte fórmula **=B5*(1,6605E-27)**, $1,6605 \cdot 10^{-27}$ é o fator de conversão entre essas unidades. Arraste a fórmula para as colunas do lado.
- Mescle as células B7 e C7, depois insira a seguinte fórmula **=SOMA(B6:C6)**. Repita essa mesma ação para as células D7, E7 e F7, e insira a fórmula **=SOMA(D6:F6)**.
- Mescle as células de B8 a F8 e verifique a variação de massa aplicando na célula mesclada a seguinte fórmula **=D7-B7**. Não se preocupe pelo fato de B7 e D7 estarem mescladas pois o Excel entende que se trata do valor apresentado nesta mescla.
- Mescle as células de B9 a F9 e insira o valor da velocidade da luz (**299.792.458 m/s**). Observação: Coloque o valor sem os pontos, pois o Excel entende estes pontos como vírgulas, inclua APENAS os números.

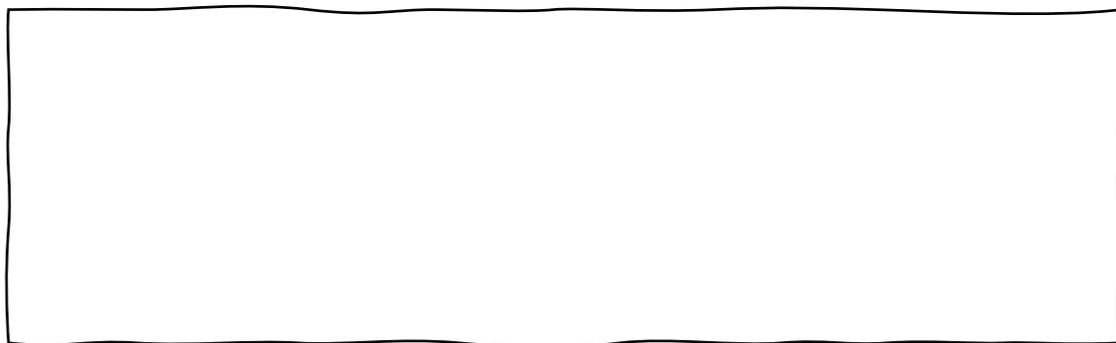
- Mescle as células de B10 a F10. É nesta célula mesclada que vamos inserir a famosa equação de Einstein, para isso acrescente a seguinte fórmula **=B8*(B9^2)**.
- Selecione as células de B3 até F10 e modifique o formato dos números de “Geral” para “Científico”, assim os números serão representados em notação científica. Aproveite a seleção e aumente o número de casas decimais para 4 clicando no ícone .
- Selecione toda a tabela e faça duas colagens, assim você poderá analisar cada uma das 3 reações de forma individual.

3º) Preencha as tabelas com os valores de massa atômica de cada elemento, para isso acesse a tabela “[Atomic Weights and Isotopic Compositions for All Elements](#)” e o valor da massa dos nêutrons você encontra no [material](#) criado pelo NIST (National Institute of Standards and Technology).

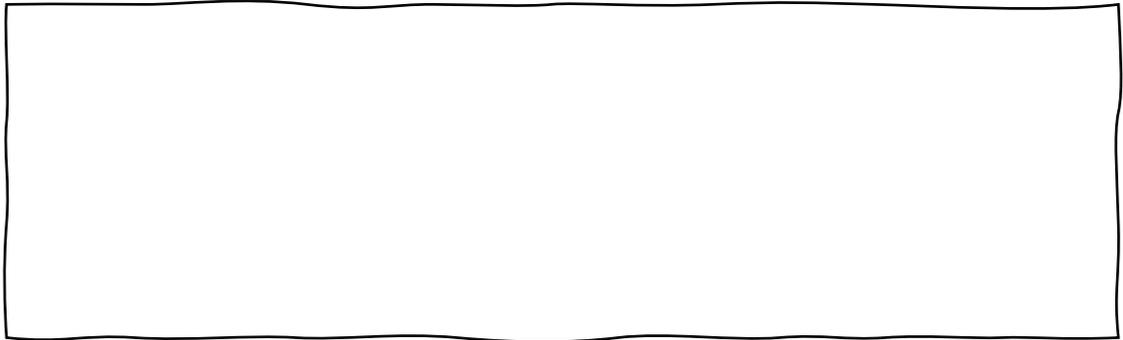
4º) Some o valor de energia proveniente das três reações que ocorreram no processo de fissão nuclear.

5º) Vamos analisar os dados!

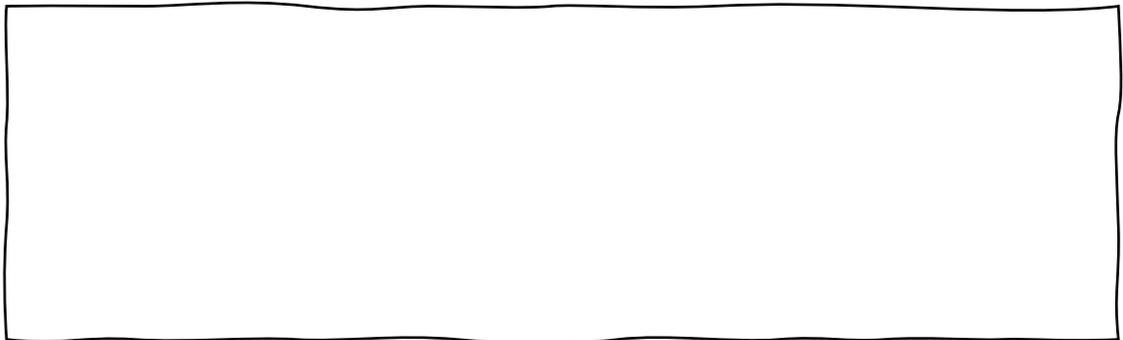
- A. Nas usinas termelétricas faz-se uso, muitas vezes, de carvão. Considerando a reação de combustão para o carvão, $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ e que a energia liberada na queima de $\cong 2 \cdot 10^{-26}$ kg (12u – 1 átomo) de carvão é de $6,5 \cdot 10^{-19}$ J, determine a quantidade de energia liberada na queima de 1kg de carvão.



B. Utilizando os dados obtidos no ao longo desta atividade, determine a quantidade de energia liberada no processo de fissão de 1kg de Urânio-235.



C. Após realizar as deduções acima verifique qual seria a massa de urânio necessária para que ocorresse a mesma liberação de energia de 1kg de carvão, dê o valor em kg.



D. Ao comparar os valores de massa de carvão e urânio-235 para produção de uma mesma quantidade de energia, disserte sobre a conclusão obtida a partir da sua análise.

6º) Salve suas planilhas de dados e envie por e-mail ao professor.

REFERÊNCIAS

CHERNOBYL (2019) | Official Trailer. HBO, 2019. (2:38 min.). Legendado. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=s9APLXM9Ei8>>. Acesso em: 23 set. 2019.

MARIA, Ana. **A fissão e a fusão são fenômenos que acontecem no núcleo dos átomos. Eles têm a mesma natureza, mas funcionam de forma bem diferente! Você sabe quais são as diferenças entre fissão e fusão nuclear?** 2019. Disponível em: <<https://blog.biologiatotal.com.br/fissao-e-fusao-nuclear-o-que-sao-diferencas-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Fissão Nuclear**. [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/722SF/03_laboratorio_frame.htm>. Acesso em: 17 set. 2019.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Reatores a Fissão Nuclear**. [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://relpe.net/recursos/zip/726/08_avaliacao_02.htm>. Acesso em: 17 set. 2019.

OLIVEIRA, Adilson de. **A Equação e a Bomba Atômica**. 2015. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/a-equacao-e-a-bomba-atomica/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY. Nist - National Institute of Standards And Technology. **Atomic Weights and Isotopic Compositions with Relative Atomic Masses**: Gaithersburg. 2015. Disponível em: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/Compositions/stand_alone.pl?ele=&all=all&ascii=html&isotype=all>. Acesso em: 18 set. 2019.

PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY. Nist - National Institute of Standards And Technology. **Fundamental Physical Constants**: neutron mass in u. Disponível em: <<https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mnu>>. Acesso em: 18 set. 2019.

5.6. MATERIAL DE APOIO VI

AVALIAÇÃO SOMATIVA

Esta avaliação tem o objetivo de verificar os resultados do processo de ensino e validar se ele foi significativo ou não. Os possíveis resultados obtidos podem servir de parâmetros para alterações na UEPS em futuras aplicações.

São cinco questões abertas, sendo que cada uma delas tem como tema um dos seguintes tópicos:

- Espaço e Tempo x Espaço-Tempo;
- Simultaneidade de Eventos;
- Dilatação Temporal;
- Contração do Comprimento;
- Massa e Energia.

Como parâmetro de correção será avaliada a coerência das respostas dos alunos.

Professor: _____

Disciplina: _____

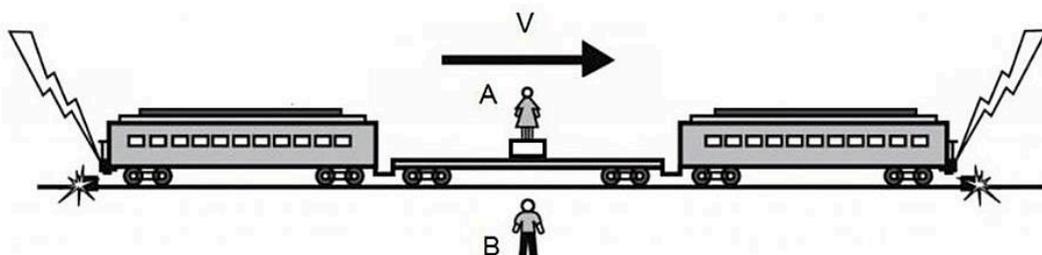
Aluno: _____

Série: _____ Data: _____

AVALIAÇÃO SOMATIVA

1. **[Espaço e Tempo x Espaço-Tempo]** Com a Relatividade Especial, desenvolvida fundamentalmente por Albert Einstein, alguns conceitos básicos da física clássica, entre eles, o espaço e o tempo, tiveram de ser reavaliados. Sobre esta temática, disserte sobre a validade da Relatividade Galileana e da Relatividade Especial.

2. **[Simultaneidade de Eventos]** Sabemos que, quando dois eventos A e B são vistos por diversos observadores, um deles pode dizer que o evento A precedeu o evento B, mas um outro pode afirmar que o evento B precedeu o evento A. Um exemplo disso seria se houvessem dois indivíduos observando um trem em movimento próximo a velocidade da luz - um dentro do trem, exatamente na metade dele, e outro fora – conforme a imagem abaixo:



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/12111799/> (Slide 27) Acesso em: 22 abr. 2019

Suponha que dois raios verticais atinjam as extremidades do trem simultaneamente. Se para o observador no solo os raios atingissem as extremidades no mesmo instante, para o observador dentro do trem eles cairiam em momentos sucessivos. O que você diria a um amigo que lhe perguntasse qual dos eventos precedeu realmente o outro?

Fontes: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01044/re1.htm> Acesso em: 22 abr. 2019
http://www.histedbr.fe.unicamp.br/navegando/glossario/verb_b_albert_einstein.htm Acesso em: 22 abr. 2019

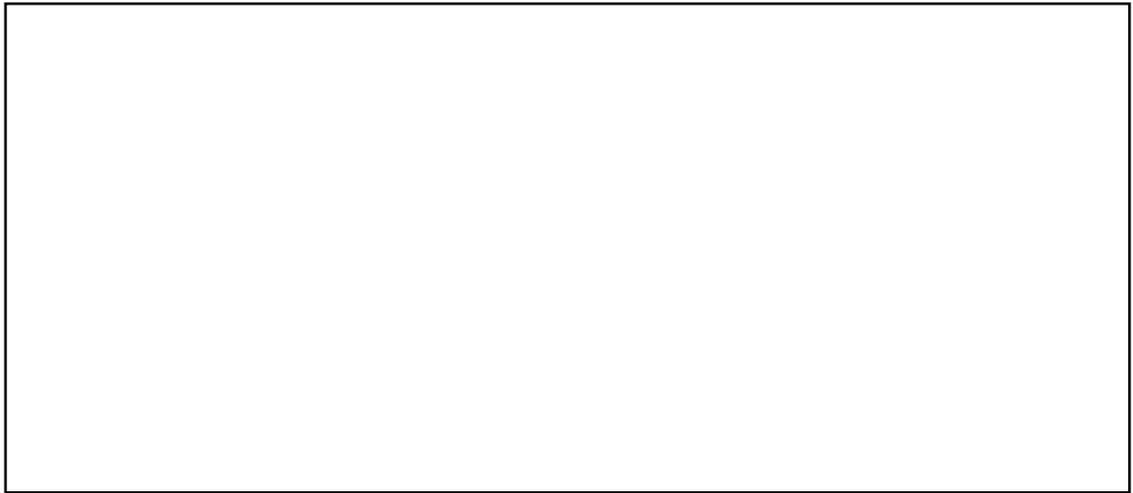
Leia o texto a seguir e responda as questões 3 e 4:

Não é de hoje que o homem tem curiosidade sobre os mistérios do universo, e segundo Stephen Hawking “precisamos continuar indo ao espaço em nome do futuro da humanidade”. Ele acreditava que “vida na Terra está em risco crescente de ser extinta por um desastre, como uma guerra nuclear, um vírus com modificações genéticas ou outros perigos”.

Fonte: IG SÃO PAULO. **Humanos devem sair da Terra em até 100 anos para sobreviver, diz Stephen Hawking.** São Paulo, 3 maio 2017. Disponível em: <https://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/2017-05-03/stephen-hawking.html>. Acesso em: 22 abr. 2019.

3. **[Dilatação Temporal]** Tendo em vista estas preocupações imaginemos que as ciências e as engenharias avançaram ao ponto de criar naves interplanetárias que se desloquem com uma velocidade $v = 0,9c$ como forma de explorar novos planetas. Se um tripulante dessa nave resolvesse tirar um cochilo de 10 minutos pelo seu relógio, quanto tempo este cochilo teria durado tendo como referência um planeta considerado fixo?

4. **[Contração do Comprimento]** Considerando a mesma nave da questão anterior, imaginemos agora que o destino dela seja o sistema estelar Alpha Centauri, um sistema formado por três estrelas e que é o mais próximo Sistema Solar. Com o auxílio de telescópios fixos na Terra foi obtida uma distância de aproximadamente 4,3 anos-luz entre os dois sistemas, sendo assim, determine a distância em linha reta percorrida pela nave interplanetária, medida pelo piloto, em anos-luz.

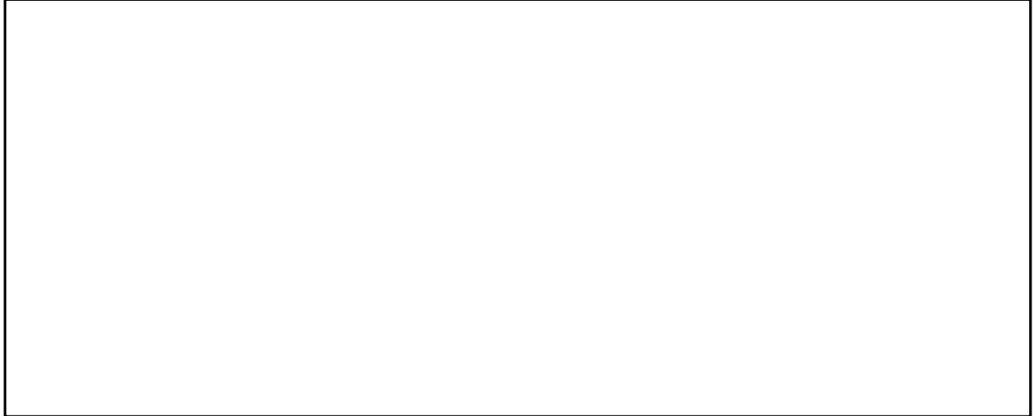


5. **[Massa e Energia]** “[...] em 1938, físicos nucleares realizavam experimentos com urânio no Instituto de Química Kaiser Wilhelm, em Berlim. Bombardeavam átomos de urânio com nêutrons para produzir átomos ainda mais pesados, os chamados transurânicos, inexistentes na natureza. Certo dia, a 22 de dezembro de 1938, Otto Hahn e seu colega Fritz Strassmann depararam-se com algo surpreendente: ao analisar o urânio por eles bombardeado, encontraram partículas de bário. A explosão do urânio representou a descoberta da fissão nuclear [...]”

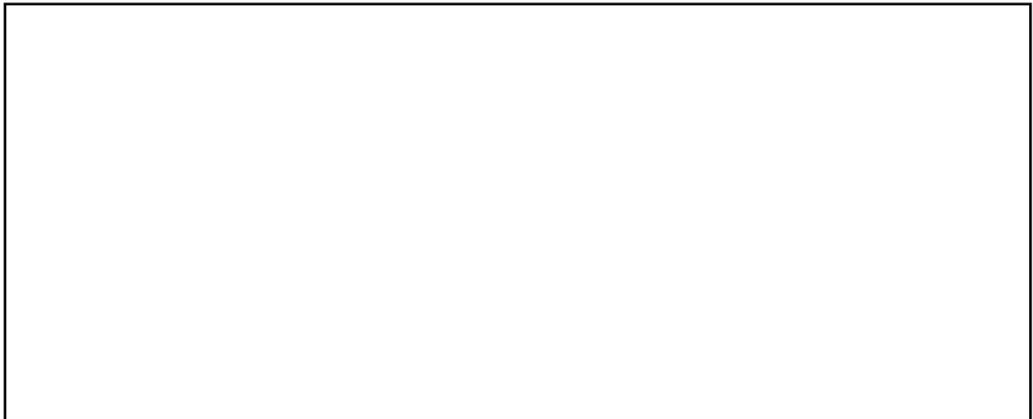
Fonte: HARTL, Judith. **1938: Otto Hahn descobre a fissão nuclear do urânio.** [S. l.], 22 dez. 2018. DW Brasil. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/1938-otto-hahn-descobre-a-fiss%C3%A3o-nuclear-do-ur%C3%A2nio/a-359236>. Acesso em: 21 abr. 2019

O processo de fissão nuclear foi algo que revolucionou a sociedade através da produção de energia termonuclear. Esse processo é o responsável tanto pela fabricação de bombas nucleares quanto pela produção de energia elétrica em usinas nucleares. Considerando a aplicação na produção de bombas:

- a. Qual é a quantidade de energia liberada na explosão de uma bomba de fissão contendo 3,0 kg de material fissionável? Suponha que 0,10% da massa é convertida em energia liberada.



- b. Que massa de TNT precisaria explodir para liberar a mesma quantidade de energia? Admita que cada mol de TNT libere $3,4 \cdot 10^6$ J de energia na explosão. A massa molecular de TNT é 0,227 kg/mol.



Fontes: D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física, 4a ed., cap 42. Probl. 56
<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01044/rel.htm> Acesso em: 21 abr. 2019

5.7. MATERIAL DE APOIO VII

AVALIAÇÃO DA UEPS

Deixe seu *feedback* sobre a UEPS que você acabou de participar, incluindo comentários sobre a estrutura, o conteúdo e o professor. Sua avaliação é de extrema importância para que o processo seja aprimorado.

IDENTIFICAÇÃO

Nome:

Turma:

- 1º Ano
 2º Ano
 3º Ano

QUESTIONÁRIO

Nível de Esforço

Marcar apenas uma alternativa por linha.

| | Fraco | Satisfatório | Excelente |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Seu nível de dedicação ao curso | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Seu nível de interesse pelo assunto | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Nível de Aprendizado

Marcar apenas uma alternativa por linha.

| | Fraco | Satisfatório | Excelente |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nível de habilidade/conhecimento no início da UEPS | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Nível de habilidade/conhecimento no fim da UEPS | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Nível de habilidade/conhecimento exigido para concluir a UEPS | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Contribuição da UEPS para habilidade/conhecimento | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Habilidade e Receptividade do Professor

Marcar apenas uma alternativa por linha.

| | Discordo | Intermédio | Concordo |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| O professor foi um palestrante/demonstrador eficiente | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| As apresentações foram claras e organizadas | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| O professor estimulou o interesse dos alunos | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| O professor foi acessível e prestativo. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| A avaliação foi rápida e ofereceu comentários úteis. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Conteúdo do Curso

Marcar apenas uma alternativa por linha.

| | Discordo | Intermédio | Concordo |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Os objetivos foram claros | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| O curso foi organizado para permitir a participação de todos os alunos. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Quais aspectos desta UEPS foram mais úteis ou valiosos?

Qual melhoria você gostaria de ver nesta UEPS que facilitaria seu processo de aprendizagem?

Você gostaria que o método de aplicação no formato de UEPS fosse utilizado em outros conteúdos?

- Sim
 Não

BIBLIOGRAFIA

BAHIA. Universidade do Estado da Bahia - UNEB. Secretaria da Educação do Estado da Bahia. **Física e o Cotidiano**. 199-. Disponível em: <<http://pat.educacao.ba.gov.br/fisicaecotidiano/index.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

BOURROUL, João Mello; CHINAGLIA, Mariana. **5 conceitos que foram revolucionados pela Teoria da Relatividade Geral**. [S. l.], 25 nov. 2015. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2015/11/5-conceitos-que-foram-revolucionados-pela-teoria-geral-da-relatividade.html>. Acesso em: 22 fev. 2019.

CAPELARI, Danilo et al. **Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CHERNOBYL (2019) | Official Trailer. HBO, 2019. (2:38). Legendado. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=s9APLXM9Ei8>>. Acesso em: 23 set. 2019.

CRASHCOURSE. **Special Relativity: Crash Course Physics #42**. 2017. (8:58). Acesso em: 07 mar. 2019.

FAUTH, A.C. et al. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 585-591, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000400017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 mar. 2019.

FAUTH, Anderson Campos; GROVER, Artur Chiaperini; CONSALTER, Daniel Martelozo. Medida da vida média do múon. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 4, 2010. Disponível em: <http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/324502.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

FLÓRIO, Victória. A origem dos raios cósmicos. **Pesquisa - FAPESP**, São Paulo, ed. 260, out. 2017. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/10/25/a-origem-dos-raios-cosmicos/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

GOMES, Alisson Leite. **De Volta para o Futuro, o filme: uma atividade para o ensino de física sobre o que é ficção e não ficção em sua estória**. São Paulo, [entre 2006 e 2015]. Disponível em: http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=lc&cod=_discutindoaficcaoanaofi. Acesso em: 13 fev. 2019.

IFGW-UNICAMP. **A Vida do Múon**. São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/2RelatividadeEspecial/2Avidadomuon/Avidadomuon.html>. Acesso em: 7 mar. 2019.

KRAUSS, Lawrence M. **A Física de Jornada nas Estrelas - Star Trek**. São Paulo: Makron Books, 1996.

MARIA, Ana. **A fissão e a fusão são fenômenos que acontecem no núcleo dos átomos. Eles têm a mesma natureza, mas funcionam de forma bem diferente! Você sabe quais são as diferenças entre fissão e fusão nuclear?** 2019. Disponível em: <<https://blog.biologiatotal.com.br/fissao-e-fusao-nuclear-o-que-sao-diferencas-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

MINUTEPHYSICS. **Complete Solution To The Twins Paradox.** 2016. (3:33). Acesso em: 07 mar. 2019.

MINUTEPHYSICS. **Impossible Muons.** 2018. (4:33). Acesso em: 07 mar. 2019.

MOREIRA, Marco A.. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. In SILVA, Márcia Gorette Lima da. et. al (org). Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal, RN: EDUFRN, 2012. p. 45 - 57.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2017.

MOREIRA, Marco A.; MASSONI, Neusa T.. **Noções básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem como subsídios para organização de Sequências de Ensino-Aprendizagem em Ciências/Física.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. 220 p.

NASSER, Bruno Birolli et al. Uma introdução a relatividade especial utilizando materiais multimídias. 2010.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Fissão Nuclear.** [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/722SF/03_laboratorio_frame.htm>. Acesso em: 17 set. 2019.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Massa-Energia-Informação: Fronteiras Atuais.** [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/725SF/03_laboratorio_frame.htm>. Acesso em: 19 set. 2019.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Os Postulados de Einstein da Relatividade.** [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/715SF/03_laboratorio_frame.htm>. Acesso em: 19 set. 2019.

NETO, Cassiano Zeferino de Carvalho et al. **Reatores a Fissão Nuclear.** [20--]. Instituto Galileo Galilei para a Educação (IGGE). Disponível em: <http://relpe.net/recursos/zip/726/08_avaliacao_02.htm>. Acesso em: 17 set. 2019.

OLIVEIRA, Adilson de. **A Equação e a Bomba Atômica.** 2015. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/a-equacao-e-a-bomba-atmica/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

PARTICLE DATA GROUP. **Review of Particle Physics: Leptons - Muon.** [S. l.], 2018. Disponível em: <http://pdg.lbl.gov/2018/listings/rpp2018-list-muon.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY. Nist - National Institute Of Standards And Technology. **Atomic Weights and Isotopic Compositions with Relative Atomic Masses**: Gaithersburg. 2015. Disponível em: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/Compositions/stand_alone.pl?ele=&all=all&ascii=html&isotype=all>. Acesso em: 18 set. 2019.

PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY. Nist - National Institute of Standards And Technology. **Fundamental Physical Constants**: neutron mass in u. Disponível em: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mnu>. Acesso em: 18 set. 2019.

SOUZA, Wagner de. UM EXEMPLO DE ATIVIDADE DIDÁTICO-PEDAGÓGICA DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO USANDO “STAR TREK”. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - CONEDU, IV., 2017, João Pessoa. **Anais IV CONEDU** [...]. Campina Grande: Realize Eventos Científicos & Editora, 2017. Tema: Ensino de Ciências, Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID_2733_05062017152521.pdf. Acesso em: 8 mar. 2019.

TANABASHI, Masaharu *et al.* (Particle Data Group). Review of Particle Physics. **Physical Review**, Califórnia, v. 98, n. 3, p. 36, 2018. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/pdf/10.1103/PhysRevD.98.030001>. Acesso em: 24 mar. 2019.

TUFFANI, MAURÍCIO. Físicos anunciam teletransporte de matéria. **Folha de S.Paulo: Ciência**, São Paulo, n.p., 11 dez. 1997. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe111201.htm>. Acesso em: 8 mar. 2019.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV**: Ótica e Física Moderna. Tradução de Daniel Vieira. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.