



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Adavilson Martins Pins

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE FILMES**

Blumenau
2023

Adavilson Martins Pins

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE FILMES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Esley Scatena Gonçalves

Blumenau
2023

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

Pins, Adavilson Martins
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O
ENSINO DA RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE
RECORTES DE FILMES / Adavilson Martins Pins ; orientador,
Esley Scatena Gonçalves, 2023.
178 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal
de Santa Catarina, Campus Blumenau, Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Relatividade Restrita. 3.
Relatividade Geral. 4. Filmes de ficção. I. Gonçalves,
Esley Scatena. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de
Física. III. Título.

Adavilson Martins Pins

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE FILMES**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 10 de maio de 2023,
por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Esley Scatena Gonçalves, Dr.

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – Blumenau

Prof. Marcelo Dallagnol Alloy, Dr.

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – Blumenau

Prof. Jefferson Luiz de Lima Moraes, Dr.

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica - Campus Nova Friburgo

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 atribuído pelo Programa
Nacional de Mestrado em Ensino de Física (MNPEF).

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Esley Scatena Gonçalves, Dr.
Orientador(a)

Blumenau, 2023

Dedico esta dissertação em especial à
minha falecida mãe – Ortência Ribeiro
Martins.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao Professor Dr. Esley Scatena Gonçalves, por toda a disponibilidade, compreensão e orientação na decorrência da produção do produto educacional e no decorrer desta dissertação.

À coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Física que acreditou na minha capacidade e me possibilitou a realização do curso.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFSC de Blumenau, pela parceria, dedicação, paciência na execução dos trabalhos, sabedoria compartilhada e comprometimento com a causa da educação.

A todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado incentivando e apoiando em especial a minha irmã Dilamar Martins Pins Pischeidt e ao meu pai Francisco Martins Pins.

Aos colegas e amigos mestrandos de turma por momentos de aprendizado, companheirismo e descontração.

Aos meus alunos que participaram do projeto com empenho e dedicação.

À equipe da EEB Prof^a. Valdete Inês Piazero Zindars por oportunizar a aplicação do produto educacional na instituição.

Às professoras e amigas Michelli Cunha Cesar, Nádia Jerusa Rodermel e ao professor Jean Carlos Neckel por todo o apoio na escrita desta dissertação.

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

RESUMO

A presente dissertação relata o desenvolvimento e aplicação do produto didático, baseado em uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) voltado para o ensino de Relatividade Restrita/Especial e Relatividade Geral no Ensino Médio. Foram elaboradas atividades não automatizadas, criaram-se situações-problemas que integram o aluno ao processo de ensino-aprendizagem nas atividades desenvolvidas. Iniciaram-se as atividades por recortes de filmes de ficção científica como motivador. Introduziram-se conceitos de Dilatação temporal, Contração do comprimento, Princípio de Equivalência e Desvio da Luz, com auxílio de Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs): internet, smartphones, data show e google drive. A UEPS foi aplicada com alunos do terceiro ano do Ensino Médio e a avaliação se obteve durante as aulas, por meio dos roteiros composto de atividades que tem uma ligação com situações reais, os alunos apresentaram bastante interesse e atenção ao desenvolvê-los. Essa UEPS foi aplicada no segundo semestre de um ano em que estava voltando com aulas presenciais, mas em período de pandemia do COVID-19. Avaliou-se o processo através de mapa conceitual que é uma excelente maneira de identificar quais os conceitos foram apreendidos pelos estudantes.

Palavras-chave: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa; Relatividade Restrita/Especial; Tecnologias da Informação e da Comunicação; Mapas Conceituais.

ABSTRACT

This dissertation reports the developed and application of the didactic product, based on a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) aimed at Teaching Restricted/Special Relativity and General Relativity in High School. Non-automated activities were elaborated, problem situations were created that integrate the student to the teaching-learning process in the developed activities. The activities were started with science fiction movie clippings as a motivator. Concepts of Time Dilation, Length Contraction, Equivalence Principle and Light Shift were introduced, with the help of Information and Communication Technologies (ICTs): internet, smart phones, data show and google drive. The PMTU was applied with third year high school students and the evaluation was obtained during the classes, through scripts composed of activities that have a connection with real situations, the students showed great interest and attention while was developing them. This UEPS was applied in the second half of a year when I was returning with face-to-face classes, but in the period of the COVID-19 pandemic. The process was evaluated through a concept map, which is an excellent way to identify which concepts were learned by the students.

Keywords: Potentially Significant Teaching Unit; Restricted/Special Relativity; Information and Communication Technologies; Concept Maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Barco em repouso	28
Figura 2 - Barco em movimento retilíneo uniforme.....	29
Figura 3 - Referenciais inerciais S e S'	30
Figura 4 - João está na estação e Maria está dentro do trem com velocidade v.....	33
Figura 5 - Trajetória do feixe de luz	34
Figura 6 - Representação do caminho percorrido pelo feixe de luz a partir do referencial de João.....	34
Figura 7 - João coloca uma régua-padrão na plataforma e mede seu comprimento próprio	37
Figura 8 - Nessa situação, é possível medir o tempo que determinado ponto do trem leva para percorrer uma distância equivalente à régua.....	38
Figura 9: Demonstração do pêndulo em referencial inercial com velocidade igual a 0	40
Figura 10 - Demonstração do pêndulo em referencial inercial com velocidade constante	40
Figura 11 - Demonstração do referencial não inercial, momento de desaceleração.....	40
Figura 12 - Demonstração do referencial não inercial, momento de acelerado.....	41
Figura 13 - a) Caixa sendo acelerada por uma nave no espaço livre; b) Caixa em repouso sobre um campo gravitacional	42
Figura 14 - a) nave em repouso sobre no espaço; b) Caixa caindo em função de um campo gravitacional.	43
Figura 15 - Bola viajando em linha reta para um observador externo.....	44
Figura 16 - Bola viajando em forma de parábola para observador dentro da nave...	44
Figura 17 - Lançamento vertical para cima.....	45
Figura 18 - Representação de um buraco negro, horizonte de eventos e Raio de Schwarzschild.	47
Figura 19 - Foguete se movendo com aceleração constante.....	49
Figura 20 - Foguete segundo o princípio da equivalência	50
Figura 21 - Imagem do filme Interstellar, momento que os tripulantes estão de frente com o buraco negro Gargantua	59
Figura 22 - Frente da Escola onde foi aplicado o produto.....	62

Figura 23 - Anotações do grupo 01 sobre os recortes	63
Figura 24: Cena do filme “Vingadores Ultimato”	64
Figura 25 - Cena do filme “Uma Odisséia no Espaço”	64
Figura 26 - Cena do filme “Interstelar”	65
Figura 27 - Cena do filme “De volta para o Futuro”	65
Figura 28 - Anotações do grupo 02 sobre os recortes	66
Figura 29 - Cena do filme “Vingadores Ultimato”	67
Figura 30 - Cena do filme “Planeta dos macacos”	67
Figura 31 - Cena do filme “Interstelar”	68
Figura 32 - Cena do filme “Contato”	68
Figura 33 - Anotações do grupo 03 sobre os recortes.	69
Figura 34 - Cena do filme “Interstelar”	70
Figura 35 - Cena do filme “De volta para o Futuro”	70
Figura 36 - Cena do filme “Contato”	71
Figura 37: Anotações do grupo 04 sobre os recortes.....	71
Figura 38 - Cena do filme “Star Trek”	72
Figura 39 - Cena do filme “Efeito borboleta”	72
Figura 40 - Cena do filme “A máquina do tempo”	73
Figura 41 - Anotações do grupo 05 sobre os recortes.	73
Figura 42 - Cena do filme “Star Trek”	74
Figura 43: Cena do filme “Doutor Estranho”	74
Figura 44 - Cena do filme “A máquina do tempo”	75
Figura 45 - Anotações do grupo 05 sobre os recortes.	75
Figura 46 - Cena do filme “Thor”	76
Figura 47 - Cena do filme “Interstelar”	76
Figura 48 - Cena do filme “Contato”	77
Figura 49 - Turma socializando sobre os recortes	78
Figura 50 - Apresentação do Prezi sobre relatividade.....	79
Figura 51 - Professor fazendo apresentação do Prezi sobre Relatividade	79
Figura 52: Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal.....	81
Figura 53 - Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal.....	82

Figura 54 - Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal.....	83
Figura 55 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos	85
Figura 56 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos	86
Figura 57 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos	87
Figura 58 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos	88

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Princípios e Aspectos sequenciais para construção da UEPS.	22
Quadro 2 - Recortes dos filmes trabalhados com os alunos.	54
Quadro 3 - Passos para desenvolvimento da UEPS.	55
Quadro 4 - Sequência da UEPS.	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO	197
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	METODOLOGIA DE ENSINO	20
2.1	UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS).....	20
2.2	MAPA CONCEITUAL	23
3	REVISÃO TEÓRICA SOBRE RELATIVIDADE	26
3.1	TRANSFORMADA DE GALILEU	28
3.2	TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL OU RESTRITA	31
3.2.1	Dilatação do tempo	32
3.2.2	Contração do espaço	37
3.3	TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL.....	39
3.3.2	Desvio da Luz em um Campo Gravitacional	43
3.3.3	Raio de Schwarzschild	44
3.3.4	Buracos Negros	47
3.3.5	Dilatação Temporal na TRG	48
4	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL	53
4.1	ENCONTRO 01 (1 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)	57
4.2	ENCONTRO 02 (5 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (240 MIN)	59
4.3	ENCONTRO 03 (5 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (240 MIN)	60
4.4	ENCONTRO 04 (1 AULA): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN).....	60
4.5	ENCONTRO 05 (1 AULA): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN).....	61
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO E RESULTADOS	62
5.1	ENCONTRO 01	62
5.1.1	Grupo 01	63
5.1.2	Grupo 02	66
5.1.3	Grupo 03	68
5.1.4	Grupo 04	71
5.1.5	Grupo 05	73

5.1.6	Grupo 06	75
5.2	ENCONTRO 02.....	77
5.3	ENCONTRO 03.....	78
5.4	ENCONTRO 04.....	80
5.5	ENCONTRO 05.....	83
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	89
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
8	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO	97

1 INTRODUÇÃO

O currículo de ensino de Física no Ensino Médio, atualmente, apresenta um ensino metódico e voltado à Física Clássica, visando, então, ampliar esse conhecimento do educando e inserir a Física Moderna e Contemporânea (FMC), apresentamos esse trabalho sobre Relatividade, podemos, assim, criar competências e habilidades que:

[...] permitam ao educando compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade (PCNEM, 1999, p.107).

Dessa forma, não se pode justificar a inserção dos assuntos de FMC como só uma atualização do currículo de Ensino Médio, e sim, como uma apropriação de conhecimento científico para ampliar a visão do educando em relação ao seu dia a dia.

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

Nesse sentido, resolveu-se elaborar uma estratégia de ensino para levar à sala de aula, planejou-se uma atividade didática como uma abordagem inovadora e com o intuito de proporcionar ao educando um motivador para despertar o interesse em relação à Teoria da Relatividade. Considerando que se poderia desenvolver um maior interesse dos educandos pelo assunto, foi elaborada uma estratégia didática tendo como principal motivador a utilização de filmes.

Filmes são recurso didáticos Visual. Estudantes de física introdutória mostram um forte interesse em participar de atividades envolvendo filmes em contraposição a sessões de resolução de problemas em grupo. Finalmente, essas atividades encorajam o pensamento criativo e podem ser usadas para desenvolver habilidades de escrita (DARK, 2005, p. 463).

Desse modo, partiu-se de filmes para motivar e aguçar o interesse dos alunos em conhecer a Teoria da Relatividade Geral e Restrita, levando-os a se interessar pelas aplicabilidades da teoria e por meio de roteiros de atividades. Na sequência das aulas, procurou-se demonstrar situações em que a teoria é relevante.

Acreditamos fortemente que a ficção científica pode ser uma ferramenta muito útil para nos ajudar a atingir alguns objetivos na educação científica como aumentar a motivação e o interesse dos estudantes, desenvolver atitudes positivas em relação à ciência, promover a criatividade dos estudantes e uma mudança crítica de mentalidade, etc. (MARTIN-DIAZ et al. 1992, p. 22)

Portanto, utilizou-se de recortes de filmes de ficção científica como motivador para analisar conceitos de física os educandos passaram a responder roteiros sobre a Teoria da Relatividade, que estavam alinhados aos recortes dos filmes. Em seguida, passou-se a se dar uma lógica aos conceitos abordados nos recortes e uma aplicação aos conceitos de relatividade.

Nesse sentido, viu-se uma oportunidade de inserir a Física Moderna e Contemporânea nas aulas de Física, mesmo que na sociedade contemporânea essa abordagem seja vista de forma superficial. Moreira (2007) segundo seu pensamento diz:

“Na verdade, não tem sentido que, em pleno século XXI, a física que se ensina nas escolas se restrinja à física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de física na educação básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de física moderna e contemporânea, como a física dos quarks abordada neste trabalho. O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e/ou capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não têm é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados, como a cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que partículas elementares”. (MOREIRA, 2007, pg. 172)

Parte-se, então, do pressuposto da necessidade de inserir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Aproveitando que o cinema pode ser uma oportunidade neste sentido, nas palavras de Piassi, temos:

O cinema, considerando a ótica pedagógica, atua principalmente pelo despertar da emoção e do envolvimento do estudante. Nesse sentido o cinema é uma manifestação cultural extremamente eficaz no que diz respeito ao entretenimento e pode ser utilizado como um gerador de debates, permitindo a emergência de reflexões em sala de aula. Nesse caso, e no âmbito da Física, a discussão das películas pode corroborar ou refutar o

conhecimento prévio trazido pelos estudantes, tornando mais significativa a aprendizagem. (PIASSI, 2017, p. 30)

Assim, percebe-se que os longas-metragens de FC apresentam um grande potencial didático para o Ensino de Física. Com base nessa hipótese, a análise de filmes de FC com possível potencial de tópicos de Física Contemporânea podem ser trabalhados com os alunos.

Contudo, trabalhar filmes de FC em sala de aula apresenta certos desafios, entre eles a duração dos filmes e sua linguagem de produção, que normalmente apresenta uma natureza mais superficial do conhecimento tratado, por exemplo.

Levar um filme para a sala de aula pode ser muito complicado. Um primeiro empecilho é a duração, frequentemente de mais de duas horas. É preciso que o filme seja muito bem aproveitado para compensar esse investimento de tempo. Mas há outros problemas. A linguagem cinematográfica é, por natureza, mais superficial do que a escrita e, de certa forma, inibe a imaginação e a criatividade ao exibir as cenas prontas, sem dar espaço para a elaboração própria do aluno. (PIASSI, 2007, p. 359)

Pensando desta forma, optou-se por fazer uma decupagem dos filmes escolhidos, o que permitiu estudos mais detalhados dos conceitos físicos a serem abordados em sala de aula, com o intuito de ganhar tempo e aprofundamento dos temas.

1.1 RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

Ensinar a relatividade no ensino médio é extremamente importante para despertar o interesse dos alunos pela ciência e dar-lhes uma compreensão mais profunda do universo e das leis que o regem.

Portanto, para que um cidadão adote uma formação científica e tecnológica que possibilite a compreensão do mundo contemporâneo e sua inclusão consciente, participativa e modificadora nele, é fundamental que a física trabalhe com os conhecimentos mais recentes, gerados desde o início do século XX até o presente, denominada Física Moderna e Contemporânea. A necessidade de trabalhar os temas da FMC no ensino médio é apontada quase unanimemente pelos pesquisadores da área e se justifica, segundo Rodrigues (2011), pela necessidade

[...] levar conhecimentos que sejam contemporâneos e que façam parte da vida do homem moderno à sala de aula, com o intuito de motivar os alunos a compreenderem fenômenos que envolvam conceitos físicos (RODRIGUES, p. 11, 2011).

Aqui estão algumas razões pelas quais a relatividade deve ser incluída no currículo de ciências do ensino médio:

- **Expansão do conhecimento científico:** A teoria da relatividade é um dos pilares fundamentais da física moderna. Ao aprendê-lo, os alunos são expostos a um dos avanços científicos mais significativos do século XX, ajudando a expandir seus conhecimentos sobre o mundo físico.
- **Desenvolvendo o pensamento crítico:** A relatividade desafia as ideias tradicionais sobre tempo, espaço e gravidade. Ao estudá-lo, os alunos são desafiados a desafiar suas percepções e conceitos anteriores. Isso ajuda a desenvolver habilidades de pensamento crítico, questionamento e resolução de problemas.
- **Compreendendo o Universo em Grande Escala:** A relatividade lida com fenômenos que ocorrem em escalas cósmicas, como a curvatura do espaço-tempo em torno de grandes massas. Essa compreensão permite que os alunos obtenham uma visão mais abrangente do universo e como ele funciona em grande escala.
- **Incentivar o interesse pela física:** A relatividade é uma teoria complexa, mas fascinante. Ao apresentá-lo no ensino médio, os alunos podem ser curiosos e incentivados a se aprofundar em áreas relacionadas da ciência, como astrofísica, cosmologia ou física de partículas.
- **Preparando-se para uma carreira em ciência:** A compreensão dos princípios básicos da relatividade é essencial para aqueles que pretendem seguir uma carreira em ciência, tecnologia, engenharia ou matemática. O ensino médio é um momento chave para fornecer uma base sólida nessas áreas, e a relatividade é um componente chave desse conhecimento.
- **Conexão com a tecnologia moderna:** A teoria da relatividade teve uma influência significativa no desenvolvimento de tecnologias modernas, como o GPS. Os princípios da relatividade são usados para corrigir inconsistências causadas pela dilatação do tempo nos satélites GPS, garantindo maior precisão nas informações de posição. Ao ensinar a relatividade, os alunos podem entender como essas tecnologias funcionam e como a ciência teórica se traduz em aplicações práticas.

Em resumo, o ensino da relatividade no ensino médio é importante para fornecer uma base sólida em ciência, desenvolver habilidades de pensamento crítico e preparar os alunos para carreiras científicas. Além disso, a relatividade permite uma compreensão mais profunda do universo e sua conexão com a tecnologia moderna, estimulando o interesse dos alunos pela ciência e suas aplicações no mundo real.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídios recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais

1.2.2 Objetivos específicos

- Discutir os limites de validade da física newtoniana;
- Introduzir o conceito de relatividade e invariância da velocidade da luz;
- Enunciar o Princípio da Equivalência;
- Definir o conceito de espaço-tempo;
- Mostrar efeitos puramente relativísticos;
- Estabelecer diferença entre a Relatividade Geral e Restrita;
- Reconhecer conceitos de Relatividade Geral e Restrita através da análise de filmes de Ficção Científica;
- Determinar os limites entre ciência e ficção.

2 METODOLOGIA DE ENSINO

2.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

Percebe-se que as aulas de Física no Ensino Médio passaram a ser um sistema de reprodução mecanizada, em que os alunos executam cálculos e fórmulas com o intuito de decorar um processo, para poder utilizá-lo, mais tarde, em avaliações sem conexão com a realidade.

Na escola, seja ela fundamental, média ou superior, os professores apresentam aos alunos conhecimentos que eles supostamente devem saber. Os alunos copiam tais conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após. (MOREIRA, 2016, p. 2)

Sendo assim, é preciso desenvolver uma forma de trabalhar com os educandos uma nova forma de abordagem dos assuntos de Física. Para tanto, resolveu-se construir uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, que consiste em uma sequência de conceitos teóricos com intenção de aprendizagem significativa e não mecânicas.

Moreira descreve segundo Ausubel a aprendizagem significativa acontece de forma que o educando recebe uma informação nova e essa é então processada e se relaciona com o conhecimento já prévio relevante da sua estrutura, sendo assim as informações interagem e se aprimoram formando um novo conhecimento.

“... aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como *conceitos subsunçores* ou, simplesmente, *subsunçore (sumers)*, existentes na estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA, 1982, p. 7).

Moreira (2012) descreve que subsunçores são:

Subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012, p. 2).

Desta forma, temos que para melhorar a aprendizagem dos alunos, devemos partir de conhecimentos já adquiridos pelos mesmos. Para tanto, vamos utilizar de roteiros conceituais e atividades contextualizadas, fazendo com que o educando tenha um conhecimento progressivo e não só uma memorização de conteúdo que pode ser esquecido.

Esse conhecimento prévio do aluno é de suma importância para conseguir adquirir um novo. O professor precisa buscar esse conhecimento prévio do aluno para poder, então, aprimorá-lo e avançar no processo de uma aprendizagem significativa. Ao mesmo tempo é necessário que o educando tenha disposição para esse novo conhecimento.

No âmbito do ensino de Ciências, a aprendizagem significativa cria, para os professores e para os alunos, a possibilidade de contextualização dos conhecimentos científicos, promovendo, assim, um aprendizado mais efetivo, capaz de tornar o indivíduo um sujeito apto a construir sua própria formação. (GOMES, 2009-2010).

Sendo assim temos como uma boa maneira de aprimorar o conhecimento do educando utilizando UEPS, que foram introduzidas por Moreira (2011):

(...) contribuir para modificar, pelo menos em parte, essa situação (de aprendizagem mecânica ubiquamente presente no ensino atual). Propõe-se neste trabalho a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. São sequências de ensino fundamentadas teoricamente, orientadas à aprendizagem significativa, não à aprendizagem mecânica, que podem estimular a investigação aplicada no ensino. (MOREIRA, 2011, pg. 43)

As UEPS, de acordo com Moreira (citação), possuem a seguinte sequência de passos:

Para a aprendizagem significativa ser efetiva deve seguir uma sequência bem definida, isso já estruturado no artigo do Moreira “UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS – UEPS”. Esta sequência tem como passos:

- I. a definição do assunto a ser abordado;
- II. criação de situações para verificação do conhecimento prévio do aluno;
- III. sugerir problemas de nível introdutório para servir de organizador prévio;
- IV. apresentação do conhecimento através de aspectos mais gerais e inclusivos;

- V. evoluir a apresentação dos conhecimentos aumentando sua complexidade, através de novos exemplos ou textos, normalmente realizando trabalhos em equipes;
- VI. concluir o assunto através de uma nova apresentação dos significados visando uma reconciliação integrativa;
- VII. avaliação da aprendizagem significativa dos alunos;
- VIII. avaliação da UEPS, através dos indícios de aprendizagem significativa dos alunos. (Moreira UEPS).

Nesse sentido moreira (2011) estrutura os 8 passos (aspectos sequenciais) e os princípios meio do quadro 1.

Quadro 1 - Princípios e Aspectos sequenciais para construção da UEPS.

Princípios		Aspectos sequenciais
“O conhecimento prévio é a variável influenciadora.”	“A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino.”	1. “Definir o tópico específico.”
“Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados positivamente.”	“A aprendizagem significativa é progressiva.”	2. “Criar/propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio.”
“O aluno decide se quer aprender significativamente.”	“O papel do professor é o de provedor de situações-problema, de organizador do ensino e mediador.”	3. “Propor situações-problema iniciais.”
“Organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios.”	“A interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados”	4. “Apresentar, progressivamente, o conhecimento a ser ensinado/aprendido.”

<p>“As situações-problema dão sentido a novos conhecimentos.”</p>	<p>“Um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos.”</p>	<p>5. “Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino.”</p>
<p>“Situações-problema podem funcionar como organizadores prévios.”</p>	<p>“A relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo.”</p>	<p>6. “Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo.”</p>
<p>“As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade.”</p>	<p>“A aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica.”</p>	<p>7. “A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação.”</p>
<p>“Para resolver a nova situação, o primeiro passo é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional.”</p>	<p>“A aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento).”</p>	<p>8. “A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.”</p>

Fonte: Moreira (2018)

2.2 MAPA CONCEITUAL.

Segundo Moreira (2012) “mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.”

Os mapas podem ser formados por seta de ligações, que podem conter palavras de interligação a caixas, círculos ou elipses, que descrevem conceitos ou ideias importantes do assunto. Essa linha de ligação entre os conceitos informa que existe relação entre elas.

Mapas conceituais são instrumentos de ensino - aprendizagem, podendo ser utilizados para avaliar a aprendizagem do educando.

(...) uso dos mapas conceituais está na avaliação da aprendizagem. Avaliação não com o objetivo de testar conhecimento e dar uma nota ao aluno, a fim de classificá-lo de alguma maneira, mas no sentido de obter informações sobre o tipo de estrutura que o aluno vê para um dado conjunto de conceitos. Para isso, pode-se solicitar ao aluno que construa o mapa (...). (MOREIRA, 2006, pg. 17).

Dessa forma mapas conceituais é um bom instrumento de avaliação, pois avalia como o aluno compreende os termos conceituais, sendo assim como ele estrutura a hierarquia, diferencia, relaciona conceitos do conhecimento de determinado assunto.

Sendo assim partindo do conhecimento prévio do aluno, a utilização dos mapas conceituais aprofunda e fica mais fácil a visualização da aprendizagem do aluno.

Os mapas conceituais se constituem em uma visualização de conceitos e relações hierárquicas entre conceitos que pode ser muito útil, para o professor e para o aluno, como uma maneira de exteriorizar o que o aluno já sabe. Obviamente, não se trata de uma representação precisa e completa do conhecimento prévio do aluno, mas sim, provavelmente, de uma boa aproximação. (MOREIRA, 2006, pg. 19).

Como construir um mapa conceitual.

- I. Identifique os conceitos-chave do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
- II. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral (is), mais inclusive(s), no topo do mapa e, gradualmente, vá agregando os demais até completar o diagrama de acordo com o princípio da diferenciação progressiva.
- III. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o

seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.

- IV. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras-chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras-chave devem formar uma proposição que expresse o significado da relação.
- V. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
- VI. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
- VII. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados.
- VIII. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer o mapa. Lembre-se que não há um único modo de traçar um mapa conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou à medida que você aprende, seu mapa também muda. Um mapa conceitual é uma estrutura dinâmica, refletindo a compreensão de quem o faz no momento em que o faz.
- IX. Compartilhe seu mapa com seus colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. O mapa conceitual é um bom instrumento para compartilhar, trocar e "negociar" significados.
- X. Setas podem ser usadas, mas não são necessárias; use-as apenas quando for muito necessário explicitar a direção de uma relação. Com muitas setas, seu mapa parecerá um fluxograma.

3 REVISÃO TEÓRICA SOBRE RELATIVIDADE

A Teoria da Relatividade Restrita ou Especial foi proposta por Albert Einstein em 1905, em uma publicação que tratava do fenômeno que envolve sistemas de referenciais inerciais, na qual mudava a abordagem para analisar o movimento dos objetos proposta por Newton e Galileu.

Tal alteração seria necessária para que quaisquer referenciais inerciais medissem o mesmo valor para a velocidade da luz no vácuo, de modo que as leis da física fossem as mesmas em qualquer um destes referenciais. A teoria da relatividade especial é baseada em dois princípios básicos:

- i. Princípio da constância da velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo é, segundo a teoria, uma constante universal e é a mesma para todos os observadores independentemente da sua velocidade relativa. Isso significa que a luz viaja a uma velocidade máxima fixa no espaço, aproximadamente 299.792.458 metros por segundo.
- ii. Princípio da Relatividade: Diz que as leis da física são as mesmas para todos os observadores em movimento relativo uniforme. Não existe um referencial absoluto, e as leis da física devem ser consistentes e válidas em todos os referenciais inerciais.

Com base nesses princípios, a teoria da relatividade especial tem algumas consequências surpreendentes:

Dilatação do tempo: quando um objeto se move em relação a um observador em alta velocidade, o tempo passa mais lentamente para o objeto em movimento em relação ao observador em repouso. Isso é conhecido como dilatação do tempo e é uma consequência direta da relatividade restrita.

Contração espacial: um objeto em movimento em relação a um observador em repouso aparece encurtado na direção do movimento. Essa contração espacial, também conhecida como contração de Lorentz, ocorre quando um objeto se move a uma velocidade próxima à velocidade da luz.

Equivalência entre massa e energia: A relatividade especial estabelece a famosa equação $E = mc^2$, onde E é a energia, m é a massa e c é a velocidade da luz ao quadrado. Esta equação mostra que a matéria pode ser convertida em energia e vice-versa, e revela uma profunda relação entre matéria e energia.

A teoria da relatividade especial foi confirmada por vários experimentos e observações, incluindo a medição precisa do tempo em sistemas de alta velocidade, a explicação da radiação do corpo negro e a explicação do efeito fotoelétrico.

Em suma, a teoria especial da relatividade de Einstein muda nossa compreensão do espaço, tempo e movimento. Ele introduz conceitos como dilatação do tempo, contração do espaço e a equivalência de matéria e energia. Esta teoria tem ampla aplicação na física de partículas, astrofísica e tecnologia moderna e é um dos fundamentos básicos da física moderna.

A teoria geral da relatividade, formulada por Albert Einstein em 1915, é uma das teorias fundamentais da física moderna. Descreve a gravidade como a curvatura do espaço-tempo causada pela presença de matéria e energia. Ao contrário da física clássica, que vê o espaço e o tempo como entidades separadas e independentes, a relatividade geral os combina em uma única entidade chamada espaço-tempo.

A relatividade geral tem duas ideias principais:

- i. Princípio da Relatividade: Diz que as leis da física são as mesmas para todos os observadores em movimento relativo uniforme. Isso significa que não existe um quadro de referência absoluto e privilegiado no universo, e os eventos são descritos em relação a um observador particular.
- ii. Curvatura do espaço-tempo: De acordo com a relatividade geral, a presença de matéria e energia curva o espaço-tempo ao seu redor. Essa curvatura afeta o movimento dos corpos e determina como eles interagem gravitacionalmente. Em outras palavras, a gravidade não é mais vista como uma força misteriosa agindo à distância, mas como consequência da geometria do espaço-tempo curvo.

A relatividade geral teve várias confirmações experimentais ao longo dos anos, como a precessão do periélio de Mercúrio, a deflexão da luz em campos gravitacionais e a observação de ondas gravitacionais. Além disso, a teoria tem implicações importantes para nossa compreensão do grande universo, incluindo a descrição da expansão do universo, a formação de buracos negros e a natureza do tempo sob condições extremas.

Em suma, a teoria da relatividade geral de Einstein revolucionou nossa compreensão da gravidade, fundindo espaço e tempo em uma única entidade e descrevendo a gravidade como a curvatura do espaço-tempo. Ele fornece uma

estrutura teórica poderosa para entender o funcionamento do universo em várias escalas, desde sistemas solares até a expansão cósmica.

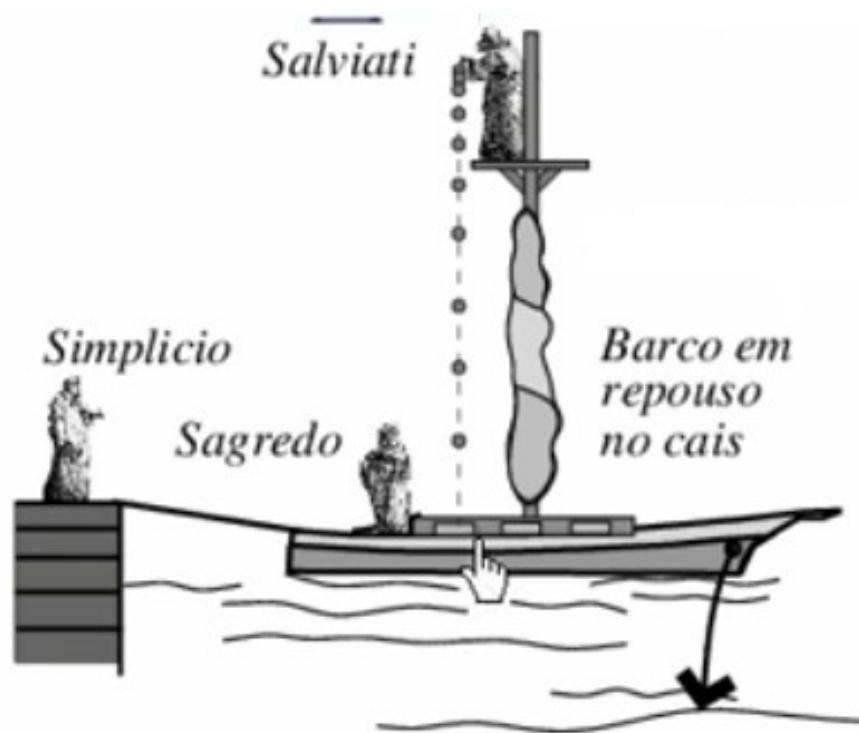
3.1 TRANSFORMADA DE GALILEU

Galileu ao analisar diferentes referenciais postulou que: “as leis da Física são as mesmas, independente do sistema de coordenadas no qual a observação é feita estar em repouso ou se movendo com velocidade constante”. Dessa forma, ele considerou a seguinte situação:

Ao refutar o argumento, Salviati começa por perguntar a Simplício: “SALVIATI: Muito bem. Você jamais fez esta experiência do navio? SIMPLÍCIO: Nunca fiz, mas certamente acredito que as autoridades que formularam o argumento tinham feito uma observação cuidadosa... SALVIATI: ...você o toma como certo sem tê-lo feito... e eles fizeram o mesmo tendo fé em seus antecessores, e assim por diante, sem jamais chegar a alguém que o tenha feito. Pois quem quer que faça a experiência verá que ela mostra exatamente o contrário do que foi escrito, ou seja, que a pedra sempre cai no mesmo ponto do navio, quer ele esteja parado, quer esteja se movendo em qualquer velocidade que se queira. O mesmo vale para a Terra: nada pode ser inferido sobre o movimento ou imobilidade da Terra pelo fato de que a pedra sempre cai ao pé da torre.” (MOYSÉS, 2013, pg. 62)

Temos como referencial o Simplício (fora do barco) e um segundo referencial que é o Sagredo (no barco).

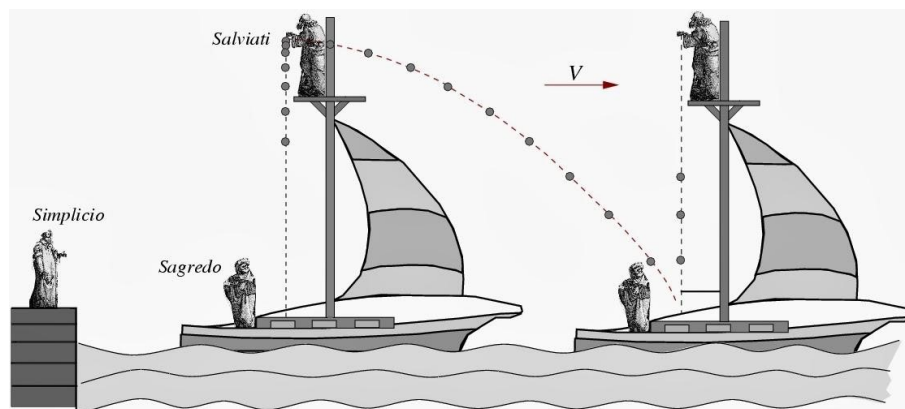
Figura 1 - Barco em repouso



Fonte: Adaptado de Lucianda (2013)

No primeiro caso, tanto para Simplicio como para Sagredo a esfera cai paralela ao mastro do barco.

Figura 2 - Barco em movimento retilíneo uniforme



Fonte: Martins (2005) apud Lucinda (2013)

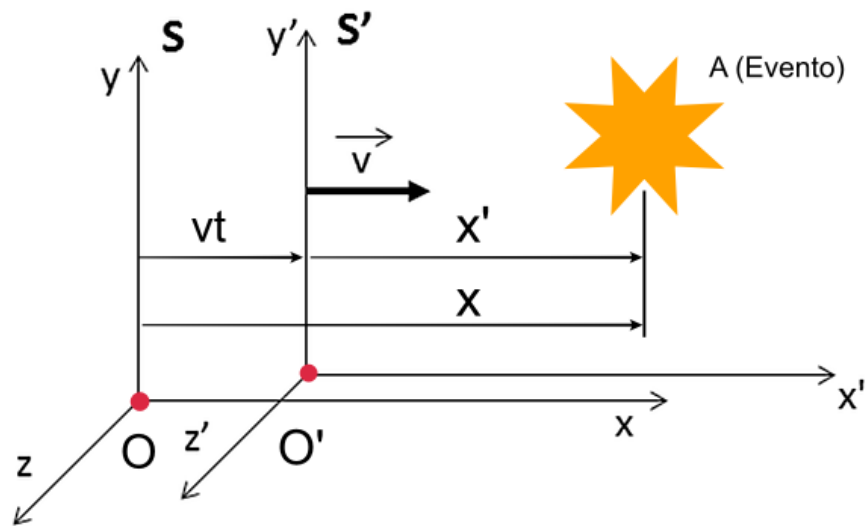
No segundo caso, para Simplicio a esfera desenvolve uma trajetória oblíqua para que caia no mesmo local que o observado por Sagredo, que tem a visão de que a esfera desce paralela ao mastro novamente.

Dessa forma, vamos fazer uma análise entre os referenciais um pouco mais matemática. Sendo assim, vamos adotar dois referenciais inerciais, utilizando as três

coordenadas espaciais e uma coordenada temporal (x, y, z e t). O primeiro vamos chamar de S e segundo de S' . O referencial S vê o referencial S' mover-se com velocidade constante de módulo v sobre o eixo x , paralelo ao eixo x' . Adotaremos que o referencial $S' = S$, quando a coordenada temporal é igual a zero ($t = 0$).

Supomos que um evento A ocorra em um dado ponto do espaço, em certo instante, como um raio, ou uma foto com um flash. Os observadores estão localizados nas origens das coordenadas. Um observador O sobre a origem de S e um observador O' sobre a origem de S' , como no sistema da figura 3.

Figura 3 - Referenciais inerciais S e S'



Fonte: Santos (2020)

Considerando x função horária do espaço:

$$x = x' + vt \quad (1)$$

Isolando x' temos:

$$x' = x - vt \quad (2)$$

Para as outras coordenadas não há modificações:

$$y' = y \quad (3)$$

$$z' = z \quad (4)$$

$$t' = t \quad (5)$$

Vemos assim que, para Galileu, temos uma transformação na coordenada x e x' , mas todas as outras, inclusive o tempo t , mantêm-se iguais.

3.2 TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL OU RESTRITA

A Teoria da Relatividade Especial se sustenta com base em dois postulados, sendo eles:

1º As Leis da Física são idênticas em relação a qualquer referencial inercial.

Com esse postulado Einstein afirma que para todo e qualquer referencial as leis físicas são as mesmas (Mecânica, Eletromagnetismo, etc.).

2º A velocidade da luz no vácuo é uma constante universal. É a mesma em todos os sistemas inerciais de referência. Não depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.

Com base no segundo postulado, Einstein demonstrou que as transformadas de Galileu devem ser alteradas para as transformações de Lorentz:

$$x' = \gamma(x - vt) \quad (6)$$

$$y' = y \quad (7)$$

$$z' = z \quad (8)$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v x}{c^2} \right) \quad (9)$$

Onde γ é dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (10)$$

Como consequência da teoria de Einstein, os fenômenos de tempo e espaço, quando medidos por observadores com movimentos relativos, não são iguais.

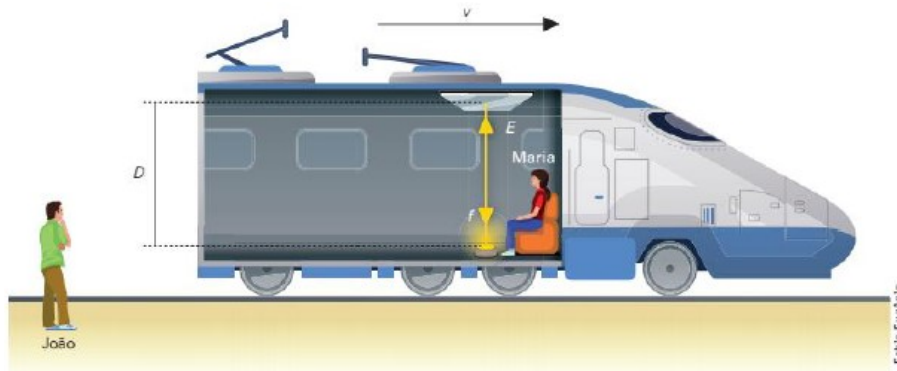
Vamos ilustrar essa situação com o famoso experimento do trem, em que teremos dois observadores em pontos distintos, onde um se localiza dentro do trem e outro na plataforma, nossos personagens fictícios serão João e Maria.

3.2.1 Dilatação do tempo.

Na relatividade de Einstein a compreensão do tempo é mais difícil, pois ele deixa de ser absoluto, não tendo mais eventos ocorrendo simultaneamente em referenciais diferentes como era no universo proposto por Galileu e Newton, sendo assim o que simultâneo em um referencial pode não ser em outro “Enquanto na Física newtoniana a simultaneidade é absoluta (isto é, não depende do referencial), na RR ela é relativa ao referencial utilizado.” (FAGUNDES, 2010, p.39)

Imagine João sobre uma plataforma em uma estação de trem e Maria viajando dentro do trem que se desloca com velocidade v em relação à plataforma (figura 4). Agora imaginamos uma fonte luminosa emitindo um feixe de luz f fixada no solo do trem e ao teto do vagão fixamos um espelho E , dessa forma Maria a fonte luminosa e o espelho estão em repouso em relação ao vagão, sendo que ambos estão com a mesma velocidade v do vagão em relação a plataforma.

Figura 4 - João está na estação e Maria está dentro do trem com velocidade v



Fonte: Pietrocola, Pogibin, Andrade Romero (2016)

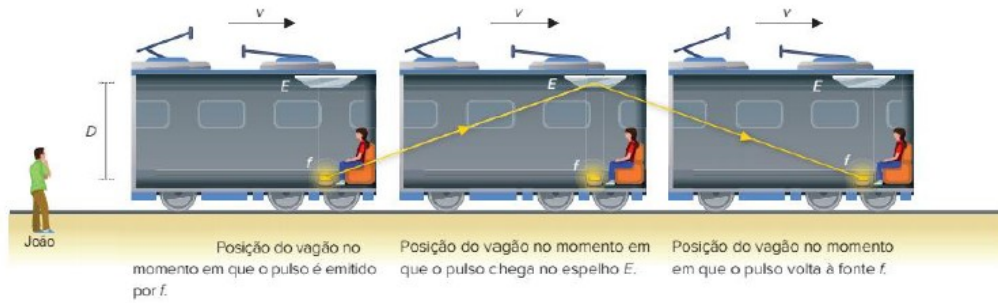
Agora será emitido um feixe de luz f da fonte luminosa, dessa forma Maria observará o feixe subir até o teto, bater no espelho e descer até a fonte luminosa, considerando a distância da fonte luminosa ao espelho como D , teremos então que a distância percorrida pelo feixe luz f até chegar à fonte luminosa é $2D$, sendo a distância percorrida pelo feixe luminoso, sendo assim temos:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v} \Rightarrow \Delta t_M = \frac{\Delta x}{v} \Rightarrow \Delta t_M = \frac{2D}{c}, \quad (11)$$

em que c é a velocidade da luz.

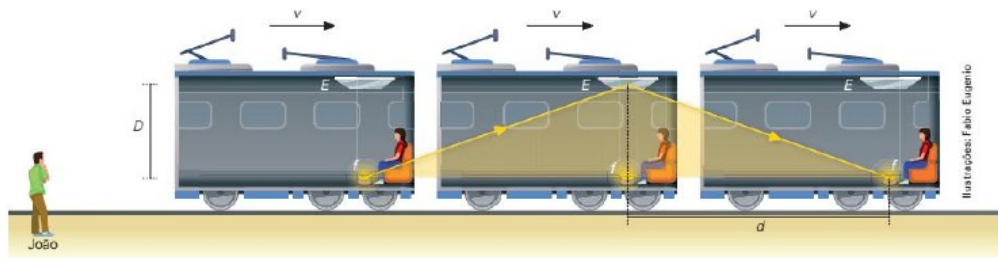
Agora vamos fazer a mesma análise do ponto de vista de João que está parado na plataforma e observa que o tempo para o feixe de luz f é diferente com velocidade v (figura 5), pois o caminho percorrido pelo feixe de luz f é maior do que no observado por Maria, sendo assim ele descreve ao longo da trajetória um triângulo isóscele de altura D e base d , sendo a distância percorrida pelo trem (e pelo feixe de luz) para esse intervalo de tempo. Sendo assim o feixe de luz f percorre um caminho de $2h$, que equivale a hipotenusa do triângulo (figura 6).

Figura 5 - Trajetória do feixe de luz



Fonte: Pietrocola, Pogibin, Andrade Romero (2016)

Figura 6 - Representação do caminho percorrido pelo feixe de luz a partir do referencial de João



Fonte: Pietrocola, Pogibin, Andrade Romero (2016)

Com base no segundo postulando, em que a velocidade da luz é absoluta e constante igual a c , temos, então, para João um caminho maior percorrido pelo feixe de luz f para sair da fonte luminosa, bater no espelho do teto do vagão e incidir na fonte novamente, para tanto vamos aplicar o teorema de Pitágoras nesse caso:

$$h^2 = d^2 + D^2 \quad (12)$$

Na primeira situação há o deslocamento do feixe da luz, então temos a velocidade da luz c :

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow c = \frac{2h}{\Delta t_j} \Rightarrow h = \frac{c\Delta t_j}{2} \quad (13)$$

No segundo momento há o deslocamento do vagão, temos a velocidade v :

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2d}{\Delta t_j} \Rightarrow d = \frac{v\Delta t_j}{2} \quad (14)$$

Substituir as equações (13) e (14) na equação (12), temos:

$$\left(\frac{c\Delta t_j}{2}\right)^2 = \left(\frac{v\Delta t_j}{2}\right)^2 + D^2 \quad (15)$$

$$\frac{c^2\Delta t_j^2}{4} = \frac{v^2\Delta t_j^2}{4} + D^2 \quad (16)$$

$$c^2\Delta t_j^2 = v^2\Delta t_j^2 + 4D^2 \quad (17)$$

$$c^2\Delta t_j^2 - v^2\Delta t_j^2 = 4D^2 \quad (18)$$

$$\Delta t_j^2(c^2 - v^2) = 4D^2 \quad (19)$$

$$\Delta t_j^2 = \frac{4D^2}{c^2 - v^2} \quad (20)$$

$$\Delta t_j = \sqrt{\frac{4D^2}{c^2 - v^2}} \quad (21)$$

$$\Delta t_j = \frac{2D}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (22)$$

$$\Delta t_j = \frac{2D}{\sqrt{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}} \quad (23)$$

$$\Delta t_j = \frac{2D}{c \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (24)$$

$$\Delta t_J = \frac{2D}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (25)$$

Podemos agora então substituir a equação (11) na equação (25):

$$\Delta t_J = \Delta t_M \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (26)$$

Generalizando, tem-se:

$$\Delta t = \Delta t' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (27)$$

Substituindo agora na equação (27) o fator de Lorentz tem-se:

$$\Delta t = \Delta t' \gamma \quad (28)$$

Com isso percebemos que o tempo para João e Maria são diferentes, sendo assim percebemos, segundo o princípio da relatividade, que o tempo não é absoluto.

Dessa forma, percebemos que Δt_J é maior ou igual a Δt_M , considerando que a velocidade limite é c , sendo assim dizemos que o tempo se dilata para alguém que não mede o tempo próprio.

Exemplo: Suponhamos que um grupo de astronautas parte em uma viagem numa nave espacial rumo a uma estrela distante, viajando a $0,9c$ (90% da velocidade da luz), em uma missão que dura 10 anos, medidos no relógio da nave. Quando ela regressa à Terra, verifica-se que aqui se passaram mais de 10 anos. Utilizando a Equação (19) com $\Delta t' = 10$ e $v = 0,9c$:

$$\Delta t = \Delta t' \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t = 10 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t = \frac{10}{\sqrt{1 - 0,81}} \Rightarrow$$

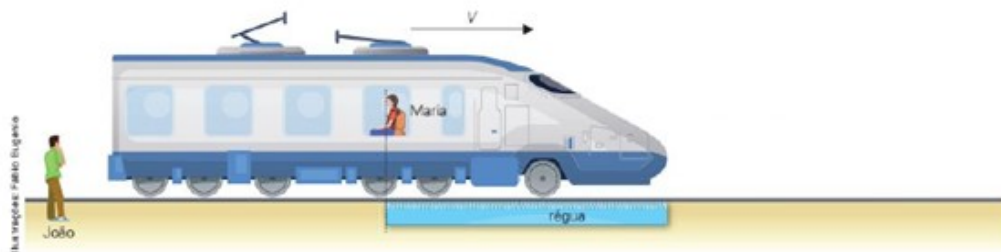
$$\Rightarrow \Delta t = \frac{10}{\sqrt{0,19}} \Rightarrow \Delta t = \frac{10}{0,43} \Rightarrow \Delta t \cong 22,94 \Rightarrow \Delta t \cong 23 \text{ anos}$$

Verifica-se que, enquanto na nave passaram-se 10 anos, aqui na Terra se passa aproximadamente 23 anos.

3.2.2 Contração do espaço

Partiremos do mesmo pressuposto do trem com João e Maria, mas agora iremos analisar o comprimento, sendo assim imaginemos que João agora coloca uma régua-padrão na plataforma (Figura 7) para medir o comprimento próprio dessa régua L_J .

Figura 7 - João coloca uma régua-padrão na plataforma e mede seu comprimento próprio

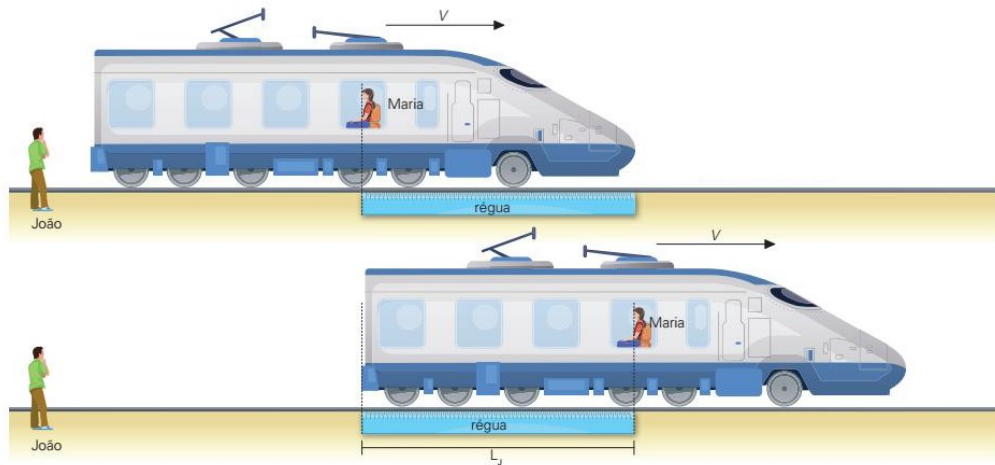


Fonte: Pietrocola, Pogibin, Andrade Romero (2016)

Dessa forma, João consegue medir o comprimento da régua, medindo o tempo que o trem leva para se deslocar com velocidade v de um determinado ponto a outro (Figura 8), sendo o comprimento da régua esse deslocamento.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v\Delta t \Rightarrow L_J = v\Delta t_J \quad (29)$$

Figura 8 - Nessa situação, é possível medir o tempo que determinado ponto do trem leva para percorrer uma distância equivalente à régua



Fonte: Pietrocola, Pogibin, Andrade Romero (2016)

Do ponto de vista de Maria, a percepção é de que a régua está em movimento com velocidade v , em sentido oposto.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v\Delta t \Rightarrow L_M = v\Delta t_M \quad (30)$$

Considerando a equação (29) e (30), podemos fazer uma relação entre elas:

$$\frac{L_J}{L_M} = \frac{v\Delta t_J}{v\Delta t_M} \Rightarrow \frac{L_J}{L_M} = \frac{v\Delta t_M \gamma}{v\Delta t_M} \Rightarrow \frac{L_J}{L_M} = \gamma \Rightarrow L_M = \frac{L_J}{\gamma} \quad (31)$$

Como o fator de Lorentz $\gamma \geq 1$ para Maria a impressão é de que a régua está diminuindo.

Dessa forma, notamos que o comprimento para Maria se contrai, ela não só observa a contração, mas a régua realmente se torna menor para Maria. É importante ressaltar que a contração só ocorre no sentido do movimento.

Generalizando, temos:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} \quad (32)$$

Substituindo γ , temos:

$$L = \frac{L_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (33)$$

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (34)$$

3.3 TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

Um dos nortes usado por Albert Einstein para fundamentar a Teoria da Relatividade Geral foi o Princípio de Equivalência (PE), o primeiro a levantar essa discussão sobre o PE foi Issac Newton, conhecido como princípio da equivalência fraco, no qual tratava da marca inercial e massa gravitacional.

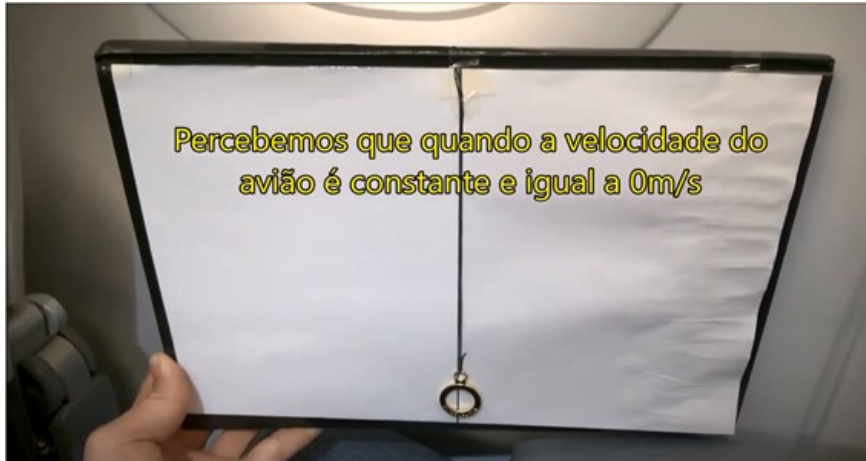
3.3.1 Princípio da equivalência

Relembrando a Relatividade Especial ela tem validade para referenciais sem gravidade e inerciais, no entanto convivemos em ambientes que isso não existe, usando então dos conhecimentos do princípio de equivalência de Issac Newton, Albert Einstein elevou essa observação a um princípio válido para qualquer experimento físico, não só mecânico, mas eletromagnético, etc.

Primeiramente, iremos analisar duas situações distintas, sendo de um referencial acelerado e de um referencial inercial.

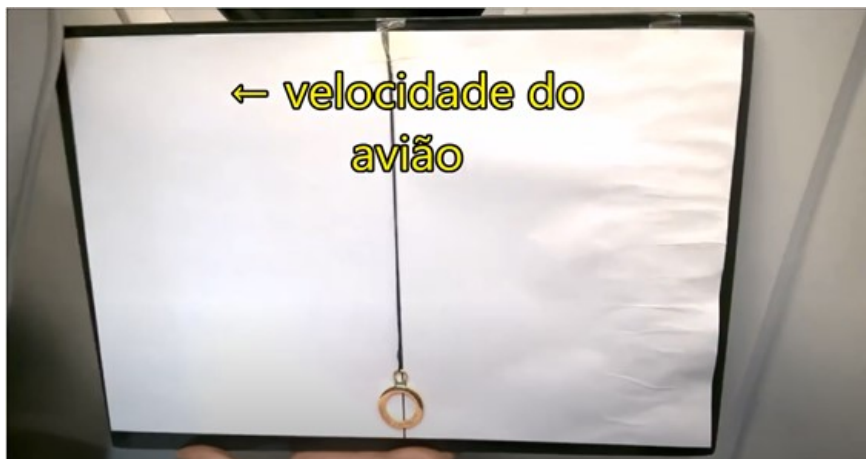
Na figura 9 observa-se a situação do pêndulo em repouso em relação ao solo, na figura 10 observa-se a situação em que o pêndulo está se deslocando com velocidade constante em relação ao solo, na figura 11 observa-se a situação em que o pêndulo está em movimento acelerado em relação ao solo e na figura 12 observa-se a situação em que o pêndulo se encontra em movimento desacelerado.

Figura 9: Demonstração do pêndulo em referencial inercial com velocidade igual a 0



Fonte: Adaptado de Chitolina (2015)

Figura 10 - Demonstração do pêndulo em referencial inercial com velocidade constante



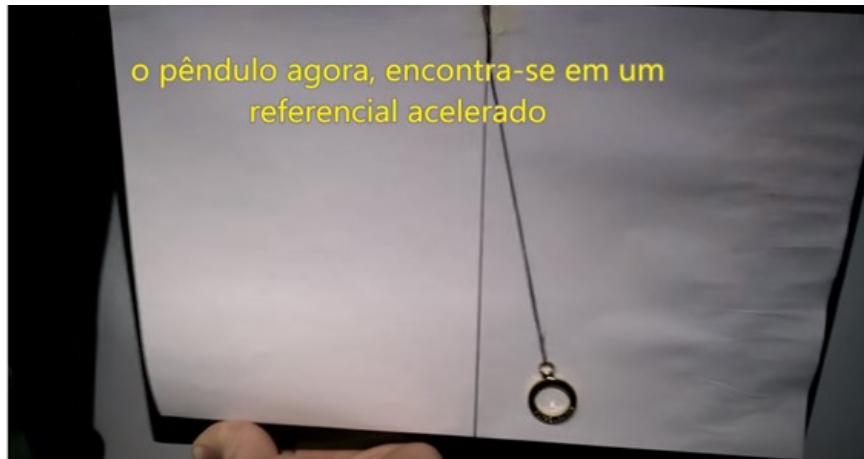
Fonte: Adaptado Chitolina (2015)

Figura 11 - Demonstração do referencial não inercial, momento de desaceleração



Fonte: Adaptado de Chitolina (2015)

Figura 12 - Demonstração do referencial não inercial, momento de acelerado



Fonte: Adaptado de Chitolina (2015)

Dessa forma, podemos expandir o experimento para uma situação hipotética de uma nave que esteja viajando no espaço.

Com essa ideia de inserir gravidade à teoria, Einstein analisou a mecânica de Newton e percebeu que o conceito de massa aparece de duas formas diferentes, nesse sentido Einstein fez uso da segunda Lei de Newton:

$$F = ma \quad (35)$$

Onde temos que F é a força resultante, m é a massa inercial a que vamos escrever como m_i e a é aceleração, já para ação gravitacional temos a seguinte forma:

$$F = m_g g, \quad (36)$$

m é a massa gravitacional e vamos escrever como m_g e g é a intensidade do campo gravitacional ou a aceleração da gravidade. Assim, substituindo a equação (35) na (36) temos:

$$m_i a = m_g g \quad (37)$$

Isolando a aceleração tem-se:

$$a = \frac{m_g}{m_i} g \quad (38)$$

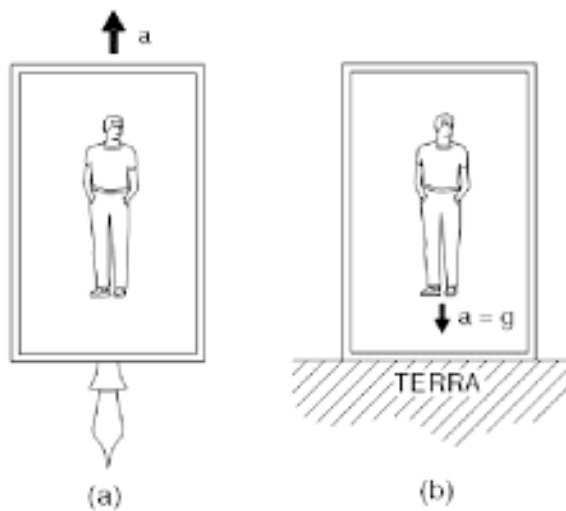
Considerando que:

$$\frac{m_g}{m_i} = 1 \quad (39)$$

Assim, notamos que m_g e m_i são numericamente iguais e conceitualmente são grandezas distintas.

Einstein idealizou que alguém dentro de uma caixa fechada (elevador), sem contato com outro corpo externo, não podendo ser influenciado pela gravidade, não conseguiria descrever se a caixa está em repouso no campo gravitacional da Terra (figura 13 - a) ou se está sofrendo uma aceleração de uma nave em espaço livre (figura 13 - b), o que Einstein veio a se referir como “A ideia mais feliz da minha vida” (Einstein, 1907).

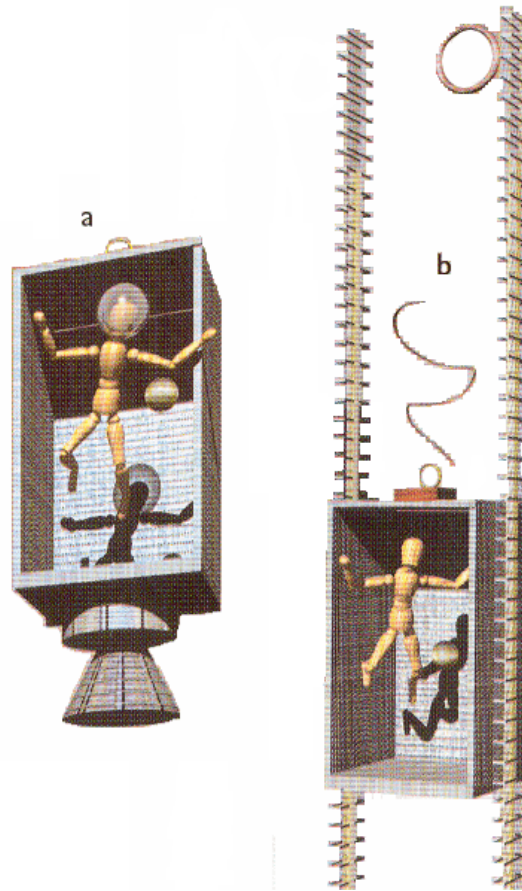
Figura 13 - a) Caixa sendo acelerada por uma nave no espaço livre; b) Caixa em repouso sobre um campo gravitacional



Fonte: Moraes (2023)

Também não seria possível diferenciar se você estaria em uma nave em repouso no espaço ou movimento uniforme em relação às estrelas distantes (figura 14 - a), de um caixa em queda livre sobre a ação do campo gravitacional (figura 14 - b).

Figura 14 - a) nave em repouso sobre no espaço; b) Caixa caindo em função de um campo gravitacional.



Fonte: Hawking (2001)

Nesse sentido, um corpo em queda livre sobre a ação de um campo gravitacional e um corpo em repouso no espaço passam a não sentir a ação da força gravitacional.

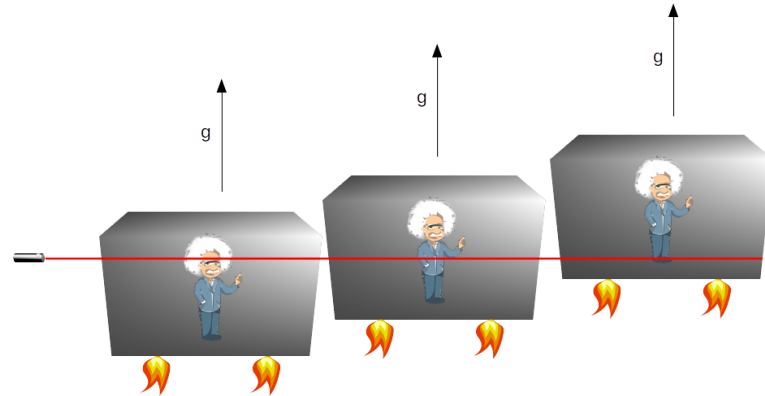
O princípio da equivalência estabelece que as observações realizadas num sistema de referência acelerado são indistinguíveis daquelas realizadas no interior de um campo gravitacional newtoniano. Essa equivalência seria interessante, mas não revolucionária, se fosse aplicável apenas aos fenômenos mecânicos, mas Einstein foi além e estabeleceu que o princípio vale para todos os fenômenos naturais; portanto, vale também para a óptica e todos os fenômenos eletromagnéticos (HEWITT, 2015, p. 689).

3.3.2 Desvio da Luz em um Campo Gravitacional

Considerando um novo experimento, no qual temos uma bola sendo lançada pela janela de uma nave que está sendo acelerada para cima, um observador externo

à mesma observa a bola deslocar-se em linha reta para parede oposta à janela de entrada e percebe que ela atinge a parte inferior da nave.

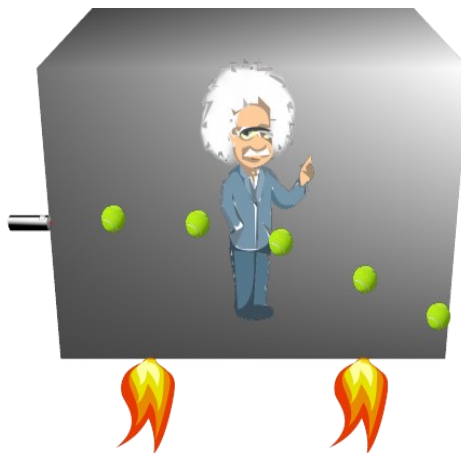
Figura 15 - Bola viajando em linha reta para um observador externo.



Fonte: O autor

Para um observador no interior da nave ele percebe que a bola ao entrar pela janela da nave desenvolve uma trajetória em forma de parábola, assim sendo atingindo a parte inferior da nave em função da aceleração da nave para cima, dessa forma é como se estivesse na presença de um campo gravitacional.

Figura 16 - Bola viajando em forma de parábola para observador dentro da nave.



Fonte: O autor

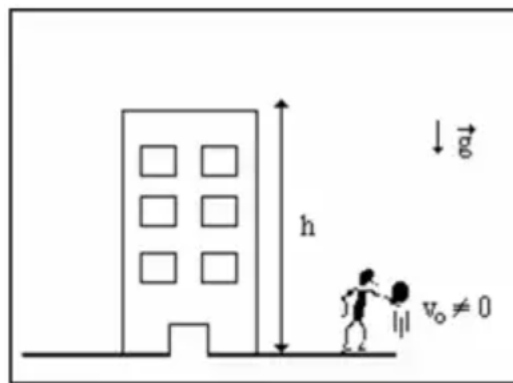
3.3.3 Raio de Schwarzschild

Vamos descrever o raio de Schwarzschild por meio da mecânica newtoniana, para melhor compreensão, lembrando que o mesmo é descrito pela relatividade geral.

Ao lançarmos uma bola com velocidade v verticalmente para cima, percebemos que a mesma atinge uma altura h , se lançarmos a bola novamente com uma velocidade v maior que anteriormente percebemos que a mesma alcança uma altura maior que h , sendo assim podemos concluir que temos uma velocidade em que podemos lançar a bola e a mesma não voltará ao seu ponto de partida, essa velocidade chamamos de velocidade de escape v_e .

Sendo assim podemos utilizar conceitos de física newtoniana, para tanto vamos imaginar que nossa bola está na superfície de uma estrela Figura 17.

Figura 17 - Lançamento vertical para cima



Fonte: Adaptado Projeto Sophia

Sendo $E_{C\infty}$ energia cinética no infinito e $E_{P\infty}$ energia potencial no infinito temos:

$$E_{C\infty} = 0 \quad (40)$$

$$E_{P\infty} = 0 \quad (41)$$

Temos que (E_{CE}) energia cinética na estrela e (E_{PE}) energia potencial da estrela é:

$$E_{CE} = \frac{mv_e^2}{2} \quad (42)$$

$$E_{PE} = -G \frac{Mm}{R} \quad (43)$$

Portanto utilizando-se da lei de conservação da energia temos:

$$E_{ME} = E_{M\infty} \quad (44)$$

Somando as energias da estrela antes da igualdade e do infinito depois temos:

$$E_{CE} + E_{PE} = E_{C\infty} + E_{P\infty} \quad (45)$$

Substituindo as equações (42), (43), (40) e (41) na equação (45) temos:

$$\frac{mv_e^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) = 0 + 0 \quad (46)$$

Fazendo a igualdade entre a equação (46) temos:

$$\frac{mv_e^2}{2} = G \frac{Mm}{R} \quad (47)$$

Cancelando a massa em ambos os lados da igualdade da equação (47):

$$\frac{v_e^2}{2} = \frac{GM}{R} \quad (48)$$

Multiplicando cruzado a equação (48) temos:

$$Rv_e^2 = 2GM \quad (49)$$

Isolando o R na equação (49) e trocando o v_e pôr c temos:

$$R = \frac{2GM}{c^2} \quad (50)$$

Sendo assim o nosso R passa a ser o raio de Schwarzschild, sendo assim passa a ser R_S :

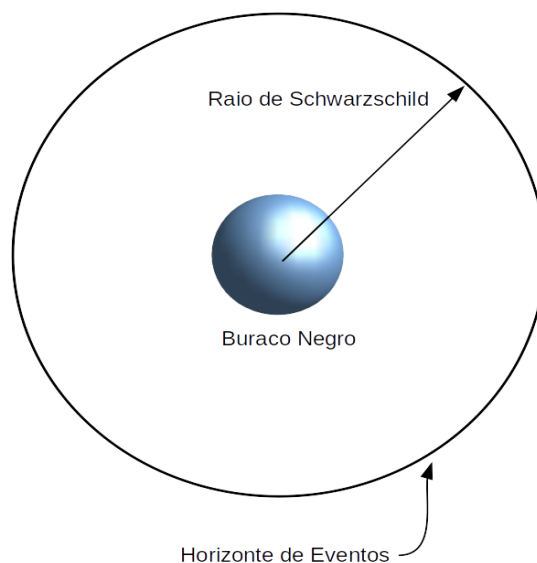
$$R_S = \frac{2GM}{c^2} \quad (51)$$

3.3.4 Buracos Negros

Agora temos condições de discutir o que são Buracos Negros. São objetos que possuem muita massa concentrada numa região bem pequena, o que faz com que o seu campo gravitacional seja muito intenso. Na verdade, o campo gravitacional é tão intenso que nem a luz consegue escapar do mesmo, tornando-o escuro (daí o nome).

Mas não é como se o buraco negro sugasse tudo ao seu redor. Um buraco negro, assim como uma estrela, pode ser orbitado por outros corpos a uma certa distância, assim como a Terra orbita o Sol. Contudo, existe uma distância mínima que precisamos manter do buraco negro, pois se ultrapassarmos esta distância, ficaremos presos (assim como a luz). Essa distância mínima é chamada de *Raio de Schwarzschild*, conforme indicado na Figura 18.

Figura 18 - Representação de um buraco negro, horizonte de eventos e Raio de Schwarzschild.



Fonte: O autor

3.3.5 Dilatação Temporal na TRG

De acordo com a teoria da relatividade geral, o tempo passa mais devagar em regiões onde a intensidade do campo gravitacional é maior. Isso significa que, em locais com maior gravidade, os relógios funcionam mais devagar em relação a regiões com menor gravidade.

Para compreender melhor esse conceito, podemos considerar um experimento de pensamento. Imagine um foguete flutuando no espaço, não sujeito a nenhuma força externa, incluindo campos gravitacionais. A altura do foguete é projetada de forma que a luz leve exatamente um segundo para percorrer a distância do teto até o chão. Agora, posicionamos dois observadores nas extremidades do foguete, cada um carregando relógios perfeitamente sincronizados no início do experimento (Figura 19).

De repente, o foguete começa a se mover com aceleração constante a uma velocidade relativamente alta, mas ainda muito distante da velocidade da luz. Essa aceleração resulta em uma sensação de inércia, permitindo que os observadores diferenciem claramente a extremidade correspondente ao teto e ao chão do foguete.

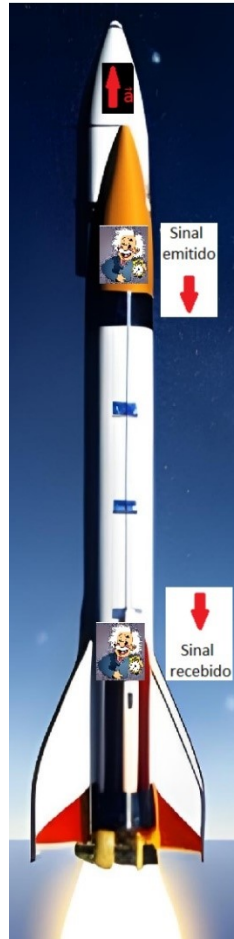
O observador no teto decide enviar sinais luminosos a cada segundo, de acordo com seu próprio relógio. No entanto, devido ao movimento acelerado do foguete na direção oposta à propagação da luz, cada sinal luminoso terá uma distância menor para percorrer em comparação com o foguete em repouso no espaço vazio.

É importante lembrar que a velocidade da luz é constante em qualquer referencial inercial. Portanto, o observador no chão, que está em um referencial inercial enquanto o foguete se move, perceberá que os intervalos de tempo entre cada sinal luminoso são menores do que um segundo, de acordo com seu próprio relógio. Isso significa que os sinais luminosos chegam mais rapidamente para o observador no chão.

No entanto, o observador no teto, devido ao seu referencial em movimento acelerado, medirá os intervalos de tempo entre cada sinal luminoso como sendo exatamente um segundo, de acordo com seu próprio relógio. Isso resulta em uma discordância entre os dois observadores, já que cada um mede o tempo de forma diferente, dependendo da altura em que estão no sistema acelerado do foguete.

Esse experimento de pensamento ilustra claramente como a dilatação temporal afeta os observadores em um sistema acelerado. Mostra que o tempo pode ser percebido de maneiras distintas, dependendo do referencial de observação e da presença de aceleração.

Figura 19 - Foguete se movendo com aceleração constante



Fonte: O autor

Sendo assim podemos identificar que um relógio num campo gravitacional é mais lento que na ausência de campo, pois o potencial gravitacional é negativo.

Vamos considerar o experimento mental ilustrado na figura 20. No qual nosso pequeno Einstein A está localizada a uma altura h do pequeno Einstein B em um campo gravitacional g . O Einstein A emite sinais de luz a intervalos iguais Δt_A como medido pelo seu relógio. Queremos responder: qual é o intervalo Δt_B entre os sinais recebidos por B de acordo com seu relógio?

Dessa forma analisaremos a situação usando o princípio da equivalência. O princípio implica que a resposta à nossa pergunta seria a mesma se o experimento fosse realizado não na superfície da Terra, mas no espaço, desde que o foguete acelerasse com a aceleração $-g$. Devido à aceleração, B recebe o sinal mais veloz do que pode transmitir. O princípio da equivalência implica que o mesmo é verdadeiro quando o foguete está em um campo gravitacional uniforme.

Figura 20 - Foguete segundo o princípio da equivalência



Fonte: O autor

Sendo assim temos que:

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (52)$$

Vamos assumir que velocidade v seja baixa, dessa forma poderemos usar a mecânica newtoniana (se dissermos que $x = \frac{v}{c}$, termos que $x \ll 1$).

Por meio da conservação da energia, temos que energia potencial gerada por campo gravitacional e dada pela equação (43), sendo assim temos:

$$\Delta\phi = G \frac{Mm}{R_1} - G \frac{Mm}{R_2} \quad (53)$$

Colocando em evidência a m :

$$\Delta\phi = m \left(\frac{GM}{R_1} - \frac{GM}{R_2} \right) \quad (54)$$

Considerando que:

$$\phi = - \frac{GM}{R} \quad (55)$$

Temos:

$$\Delta\phi = m(\phi_1 - \phi_2) \quad (56)$$

Fazendo uma igualdade entre as equações (57) e (42) temos:

$$m(\phi_1 - \phi_2) = \frac{1}{2}mv^2 \quad (57)$$

Cancelando m em ambos os lados:

$$(\phi_1 - \phi_2) = \frac{1}{2}v^2 \quad (58)$$

Quando $x \ll 1$, podemos usar a seguinte fórmula de aproximação:

$$(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x \quad (59)$$

Como $x \ll 1$ porque $x = \frac{v}{c}$, temos o seguinte para equação (52):

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (1 - x^2)^{\frac{1}{2}} \approx 1 - \frac{1}{2}x^2 = 1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} \quad (60)$$

Substituindo a equação (57) na equação (60) temos:

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A} \approx 1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{\phi_1 - \phi_2}{c^2} \quad (61)$$

Sendo assim temos:

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A} = 1 - \frac{\phi_1 - \phi_2}{c^2} \quad (62)$$

Seguem algumas referências para maior aprofundamento do assunto de Relatividade Geral e suas aplicações:

- [1] ACEVEDO, O. A.; MORAIS E. M. de; PIMENTEL, B. M. **O Princípio de Equivalência**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, volume 41, nº 3, 2019.
- [2] BAQUI, Pedro Otavio Souza. **Buracos Negros Newtonianos e Relativísticos**. Vitória, 2014. Monografia (Bacharel em Física) – Departamento de Física/CCE, Universidade Federal do Espírito Santo.
- [3] EINSTEIN, Albert. **A teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução: Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.
- [4] FAGUNDES, Helio **Teoria da relatividade: no nível matemático do ensino médio**. São Paulo: Editora livraria da Física, 2009.
- [5] HENRIQUES, Alfredo Barbosa. **Teoria da Relatividade Geral uma Introdução**. 1ª edição. Lisboa: Editora IST Press, 2009.
- [6] MACHADO, Rodrigo R; TORT, Alexandre C; ZARRO, Carlos A D. **O princípio da equivalência: Uma introdução à relatividade geral**. A Física na Escola, São Paulo, volume 19, nº 2, p. 3 – 14, outubro, 2021.
- [7] NITTA, Hideo. et al. Guia mangá relatividade. São Paulo: Editora Novatec, 2011.

4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A proposta de UEPS a seguir foi aplicado na Escola de Educação Básica Professora Valdete Inês Piazero Zindars, com os alunos do 3º ano do Ensino Médio, contendo 30 alunos, durante as aulas de Física, sendo composta por 2 (duas) aulas semanais de 45 minutos cada.

Essa proposta de unidade de ensino potencialmente significativa foi aplicada no segundo semestre de um ano em que estava voltando com aulas presenciais, mas em período de pandemia do COVID-19. Foi concedida uma extensão de prazo para a finalização da dissertação de mestrado em acordo com a CAPES, o que possibilitou o desenvolvimento deste projeto. É importante frisar que o MNPEF flexibilizou a aplicação do produto didático durante este período, embora o autor tenha conseguido aplicar o produto em sala de aula, e não de maneira remota.

O intuito é que, através de filmes de Ficção Científica (FC), seja possível despertar o interesse dos alunos por conceitos de física contemporânea e ensinar alguns conceitos de Relatividade Restrita e Relatividade Geral, temas que instigam a curiosidade dos alunos pois envolvem o arcabouço teórico necessário para descrever objetos como buracos negros e situações como viagem temporal.

"Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou as ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia". (PCN+, 2006; p. 15).

Dessa forma será idealizada uma sequência para trabalho com alunos, na qual irá ser visualizado a absorção dos conceitos utilizando-se de mapas conceituais, considerando que é um bom elemento para diagnosticar o ensino aprendizagem do aluno.

Segundo Moreira (2010, p. 17) citado por Pivatto (2013, v. 2, n. 15.):

Os mapas conceituais podem ser usados para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados em uma única aula, em uma unidade de estudo ou em um curso inteiro. São representações concisas das estruturas conceituais que estão sendo ensinadas e, como tal, provavelmente facilitam a aprendizagem dessas estruturas. Entretanto, diferentemente de outros materiais didáticos, mapas conceituais não são autoinstrutivos: devem ser explicados pelo professor. Além disso, embora possam ser usados para dar

uma visão geral do tema em estudo, é preferível usá-los quando os alunos já têm certa familiaridade com o assunto, de modo que sejam potencialmente significativos e permitam a integração, reconciliação e diferenciação de significados de conceitos.

Subsequentemente será descrita uma sequência formativa de roteiro para aplicação dos filmes de FC.

No quadro a seguir segue lista de filmes a serem trabalhados durante a aplicação do produto.

Quadro 2 - Recortes dos filmes trabalhados com os alunos.

TEMA	FIMES	CORTE/MIN.	CONCEITOS
Relatividade Especial	De volta para o Futuro	3:17	viagem temporal
		1:35	viagem temporal
	Efeito Borboleta	1:53	viagem temporal
	Vingadores Ultimato	1:48	viagem temporal
		2:18	viagem temporal
	Planeta dos Macacos-2001	1:47	Paradoxo dos gêmeos
	Dr. Estranho	3:51	viagem temporal
	Máquina do Tempo	3:27	espaço-tempo
		2:01	espaço-tempo
	Contato	1:53	viagem temporal
		1:51	viagem temporal
		1:46	buracos de minhoca/ano luz

Relatividade Geral	Interstellar	2:48	buraco de minhoca
		2:33	gravidade artificial dilatação gravitacional do tempo
		1:14	dilatação gravitacional do tempo
		3:13	buracos negros giratórios
	2001-Uma odisséia no espaço	1:10	gravidade artificial
	Thor	121	ponte de Einstein-Rosen
	Star Trek	3:16	dobra espacial
		0:57	buracos negros

Fonte: O Autor

Tais tópicos servirão de base para um conjunto de atividades para ser desenvolvido com os alunos do 3º ano do Ensino Médio.

Quadro 3 - Passos para desenvolvimento da UEPS.

ASPECTOS SEQUÊNCIA	Orientação
1. “Definir o tópico específico.”	Relatividade Especial e Relatividade Geral
2. “Criar/propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio.”	Recortes dos filmes de ficção científica relacionados no quadro 2 – Nesse momento os alunos irão expor seus conhecimentos prévios.

3. “Propor situações-problema iniciais.”	Roteiros: Movimento Relativo, Princípio de Equivalência, Desvio da Luz/Buracos Negros e Dilatação Temporal.
4. “Apresentar, progressivamente, o conhecimento a ser ensinado/aprendido.”	Roteiros com atividades progressivas: Movimento Relativo, Princípio de Equivalência, Desvio da Luz/Buracos Negros e Dilatação Temporal.
5. “Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino.”	Utilização dos recortes do início como contextualização dos roteiros
6. “Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo.”	Roteiros com atividades contextualizadas.
7. “A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação.”	Durante as aulas os alunos produziram atividades orientadas e avaliativas por meio dos roteiros.
8. “A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de	A avaliação final se deu por meio mapas conceituais.

aprendizagem significativa.”	
------------------------------	--

Quadro 4 - Sequência da UEPS.

ENCONTRO	MOMENTO	ETAPA	TEMPO
01	1	Apresentação da UEPS. Divisão/organização dos grupos. Identificação nos recortes: Ciência Real ou Ficção Científica.	1 hora/aula = 45 min
02	1	Breve noção de ciência real e ficção científica. Uma breve apresentação dos sobre os recortes por parte dos grupos.	2 horas/aula = 90 min
03	1	Apresentação dos conceitos de relatividade especial e geral por meio do PREZI.	2 horas/aula = 90 min
03	2	Identificação dos conceitos de relatividade nos recortes.	1 hora/aula = 45 min
04	1	Resolução do roteiro de movimento relativo.	1 hora/aula = 45 min
04	2	Resolução do roteiro de princípio de equivalência.	1 hora/aula = 45 min
04	3	Resolução do roteiro de desvio da luz/buracos negros.	1 hora/aula = 45 min
04	4	Resolução do roteiro de dilatação temporal.	1 hora/aula = 45 min
05	1	Produção do mapa conceitual dos grupos.	1 hora/aula = 45 min

Fonte: O Autor

4.1 ENCONTRO 01 (1 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)

Segundo Vygotsky o aprendizado só acontece quando existe uma interação entre pessoas do seu ambiente, sendo assim:

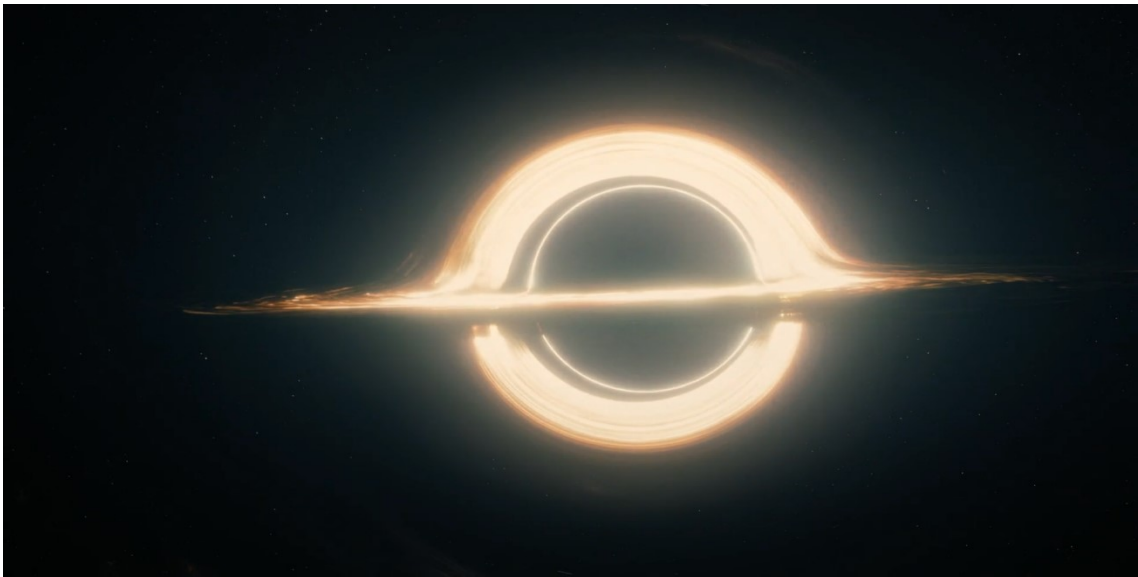
“[...] O aprendizado desperta vários processos internos de desenvolvimento, que são capazes de operar somente quando a criança interage com pessoas em seu ambiente e quando em operação com seus companheiros. Uma vez internalizados, esses processos tornam-se parte das aquisições do desenvolvimento independente da criança”. (1991, p. 77)

Neste momento o professor irá dividir a sala em 6 grupos, a montagem dos grupos será realizada pelos próprios educandos e, na sequência, serão entregues os recortes dos filmes para os grupos formados. O recorte dos filmes (figura 21) será disponibilizado através do Google Drive, o qual os alunos irão acessar a partir dos seus smartphones. Desta forma os alunos irão se organizar para assisti-los e, em sequência, analisá-los. Nesse momento eles irão fazer a identificação de potenciais relações com a teoria da relatividade: o que é ciência e o que é ficção científica, sendo assim passarão a fazer anotações e comentários sobre a viabilidade dos fenômenos apresentados.

Juntamente com os vídeos, o professor entregará aos alunos alguns textos de apoio sobre os temas a serem trabalhados. Nos referidos textos haverá algumas referências bibliográficas para fundamentar seus conceitos sobre os temas tratados nos recortes dos filmes de FC. Isso será feito no término da aula que resta e na aula subsequente da turma.

Como finalização do momento o professor irá mediar uma discussão com alunos a partir das anotações realizadas, sobre o que é ficção científica e o que é ciência.

Figura 21 - Imagem do filme Interstellar, momento que os tripulantes estão de frente com o buraco negro Gargantua



Fonte: INTERESTELAR (2014)

4.2 ENCONTRO 02 (5 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (240 MIN)

Neste momento o professor abrirá para a discussão do grande grupo os temas dos recortes, considerando os temas em comum adquiridos pelos grupos, retomando o final da aula anterior. Em seguida, serão levantados pontos que os alunos julgaram intrigantes nos recortes de filme que foram analisados. Neste momento ocorrerá uma discussão das análises através de uma breve apresentação, na qual cada grupo faz uma explanação aos outros. O professor, nesse momento, passa a ser um mediador das discussões, fazendo inserções que julgar pertinente sem interferir de forma geral no trabalho. Após a discussão do grande grupo sobre temas em comum dos recortes e definição do escopo de aplicabilidade da Relatividade Restrita e Relatividade Geral, o professor vai então trabalhar uma breve aula expositiva sobre os conceitos essenciais.

O professor pedirá para os alunos sugerirem temas associados aos recortes de filmes assistidos e os relacionará aos tópicos da Relatividade Restrita e Geral: dilatação temporal, contração espacial, paradoxo dos gêmeos, princípio da equivalência, espaço-tempo, buracos negros, etc.

4.3 ENCONTRO 03 (5 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (240 MIN)

Para finalizar a contextualização sobre os conceitos abordados e percebidos por meio dos filmes de FC, serão propostas 3 atividades referentes a Relatividade Geral e Restrita, as quais serão resolvidas nos grupos com orientação do professor:

i) movimento relativo – os receberam um conjunto de atividades com base em recortes de vídeos, no qual os alunos irão analisar os referenciais nas situações e também iram analisar a questão de velocidade em relação ao observador.

ii) princípio da equivalência - será entregue aos grupos um conjunto de atividades relacionadas ao princípio da equivalência; os alunos calcularão, por exemplo, a velocidade de rotação de uma nave em forma de anel para que a mesma produza uma gravidade artificial de mesma magnitude que a experimentada na Terra.

iii) curvatura do espaço-tempo - uma atividade discutindo o conceito de geodésica será realizada pelos alunos. Será discutido o conceito de raio de Schwarzschild e Buraco Negro.

iv) mecânica relativística - os grupos realizarão um conjunto de atividades referentes à mecânica relativística, calculando o fator de Lorentz para diversas situações de dilatação temporal, contração espacial e massa relativística.

As atividades propostas permitirão que os alunos sejam capazes de resolver problemas simples de relatividade, uma vez que após trabalhados os conceitos, a matemática envolvida é simples.

4.4 ENCONTRO 04 (1 AULA): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)

Neste momento o professor vai entregar um material instrutivo para orientar os alunos de como construir mapas conceituais. Em seguida, o professor irá construir um mapa conceitual juntamente com a turma, sobre algum dos temas já trabalhado anteriormente (eletrostática), por exemplo.

Após esse momento os alunos voltarão aos grupos e discutirão os temas e organizarão então um mapa conceitual por grupo sobre os assuntos abordados nos vídeos e nas aulas.

4.5 ENCONTRO 05 (1 AULA): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)

Com base nas discussões feitas pelos grupos, com as apresentações e novas abordagens realizadas pelo compartilhamento dos trabalhos pelos grupos, o professor propõe a montagem de um novo mapa conceitual de cada um dos grandes temas que foram abordados nos recortes de filmes FC recebido pelos grupos de alunos. Retomando o último encontro, o professor montará, com o auxílio dos alunos, um mapa conceitual final sobre a teoria da Relatividade. Ainda, assim como no primeiro encontro, agora com o auxílio do mapa conceitual, o professor mediará novamente uma discussão sobre ciência e ficção científica.

Segundo Rogers (1972) citado por Moreira (1999):

“a propensão do homem para crescer em uma direção que engrandeça a sua existência é uma premissa básica da psicologia rogeriana. Ele acredita que o organismo humano tende, inerentemente, à manutenção de si mesmo e à procura do engrandecimento: ou seja, o organismo tende à auto-realização. O homem é intrinsecamente bom e orientado para o crescimento: sob condições favoráveis, não ameaçadoras procurará desenvolver suas potencialidades ao máximo. é nesse sentido que a psicologia rogeriana é humanística; ela é também fenomenológica, no sentido de que, para compreender o comportamento de um indivíduo, é importante entender como ele percebe a realidade”. (pág. 141)

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO E RESULTADOS

A aplicação do produto didático foi desenvolvida no decorrer das aulas de Física do terceiro ano do Ensino Médio da Escola de Educação Básica Professora Valdete Inês Piazero Zindars (figura 22) no ano letivo de 2022, no período matutino com a turma 305, nos dias 15, 21 e 22 de fevereiro, no dia 07, 08, 14, 15, 21, 22, 28 e 29 de março.

Figura 22 - Frente da Escola onde foi aplicado o produto.



Fonte: O Autor

5.1 ENCONTRO 01

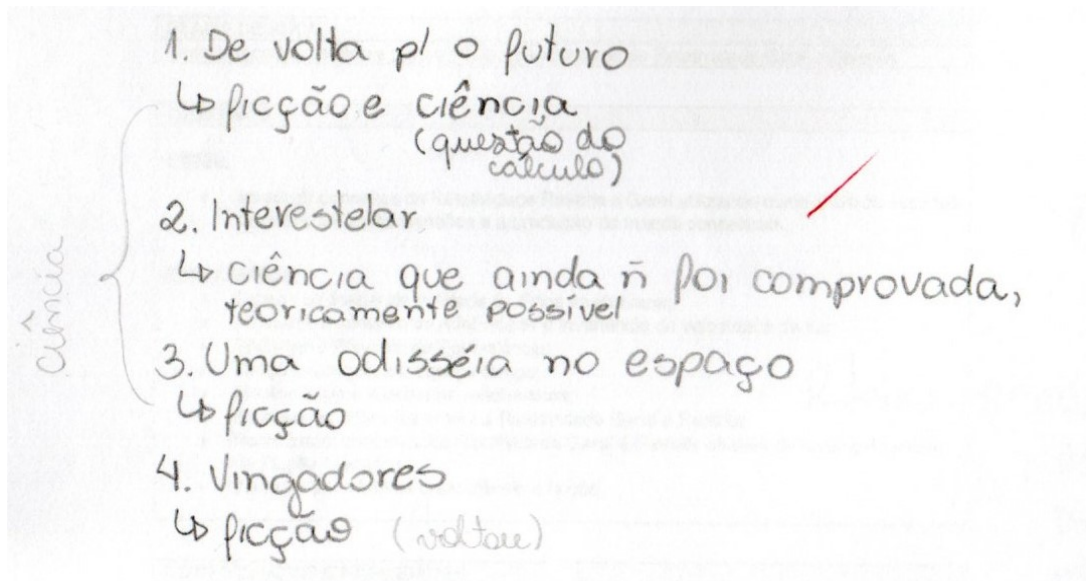
Primeiro momento: Iniciou-se a aplicação do produto didático no dia 15 de fevereiro, montando seis grupos na sala a critério dos alunos, na sequência foi entregue o plano de aula para a respectiva aula, no qual estavam as orientações do desenvolvimento da aula. Cada grupo foi numerado de um a seis, sendo assim eles poderiam ter acesso aos recortes de filmes relativos ao seu grupo. O professor, então, explicou a dinâmica da aula, passou uma senha de acesso à internet para que os alunos pudessem acessar os recortes disponíveis no google drive.

Por meio dos seus smartphones, os alunos conseguiram ter os recortes e fazer a análise dos trechos, sendo que essa análise foi feita mediante discussão nos

grupos e posteriormente anotações no roteiro, verificando se os recortes apresentavam de ciência real ou ficção científica (figura 23-28-33-37-41-45).

5.1.1 Grupo 01

Figura 23 - Anotações do grupo 01 sobre os recortes

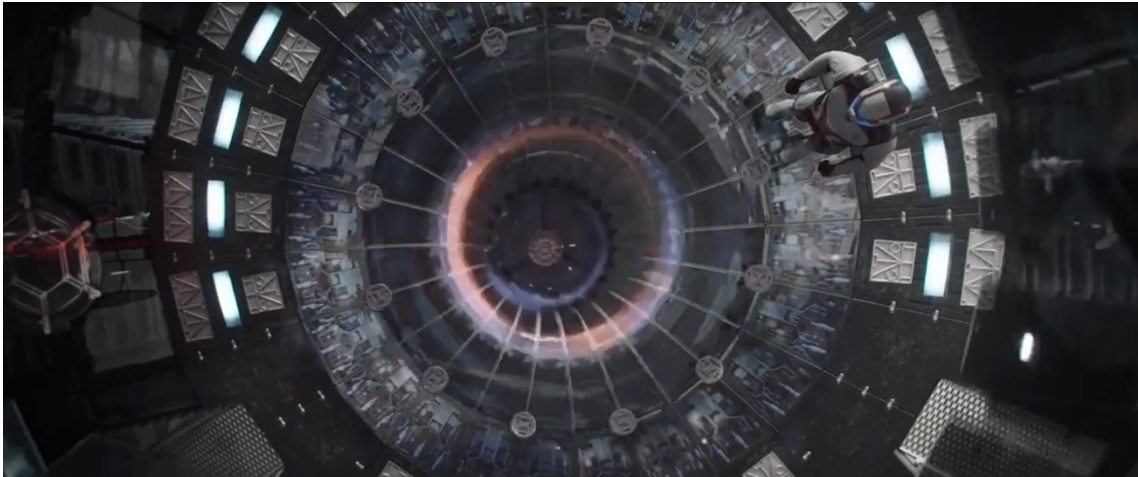


Fonte: O Autor

Vingadores Ultimato

Nessa cena será tratada a questão da viagem no tempo, em que o personagem Clinty (figura 24) viaja para o passado, testando a viagem no tempo e retorna, então, ao momento em que sua família ainda vive e traz consigo uma luva de beisebol como demonstração da viagem bem-sucedida.

Figura 24: Cena do filme “Vingadores Ultimato”



Fonte: OS VINGADORES: Ultimato (2019)

Uma Odisseia no espaço

Na cena de Uma Odisseia no espaço (figura 25) foi tratada a questão da gravidade artificial, na qual o personagem aparece fazendo atividade física em uma sala em forma de circunferência e se desloca ao redor dela como se ela tivesse gravidade.

Figura 25 - Cena do filme “Uma Odisséia no Espaço”

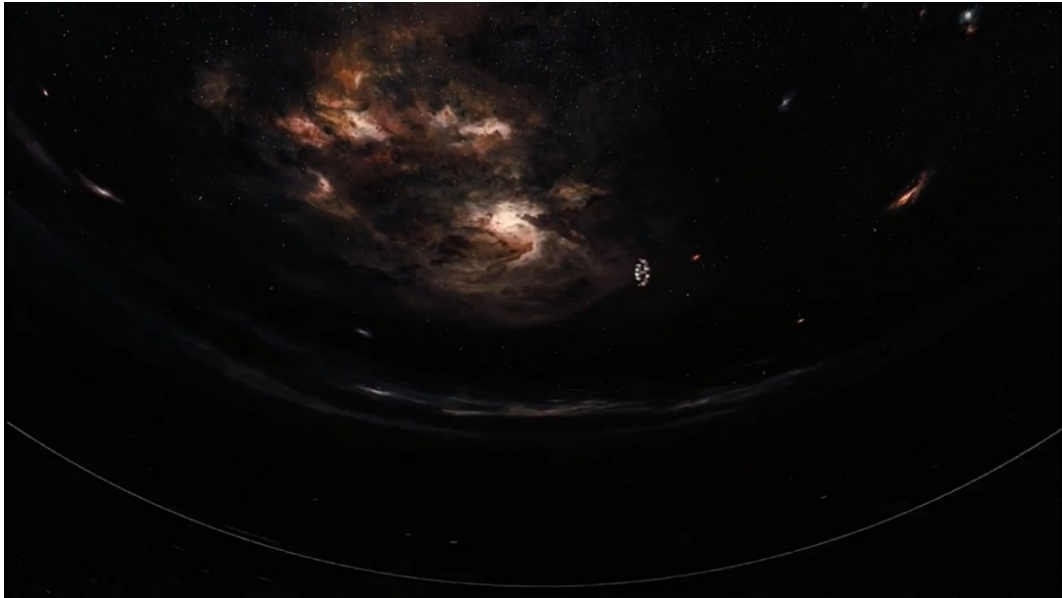


Fonte: 2001: UMA ODISSÉIA NO ESPAÇO (1968)

Interestelar

A cena descreve o momento em que a equipe atravessa um buraco de minhoca, para sair próximo ao buraco negro Gargantua (figura 26).

Figura 26 - Cena do filme “Interstellar”



Fonte: INTERESTELAR (2014)

De volta para o Futuro II

A cena descreve o momento em que o Dr. Emmett Brown (figura 27) está testando o DeLorean como máquina de viagem no tempo, ele coloca o seu cachorro o Einstein para viajar para o futuro, com um avanço de 1 min.

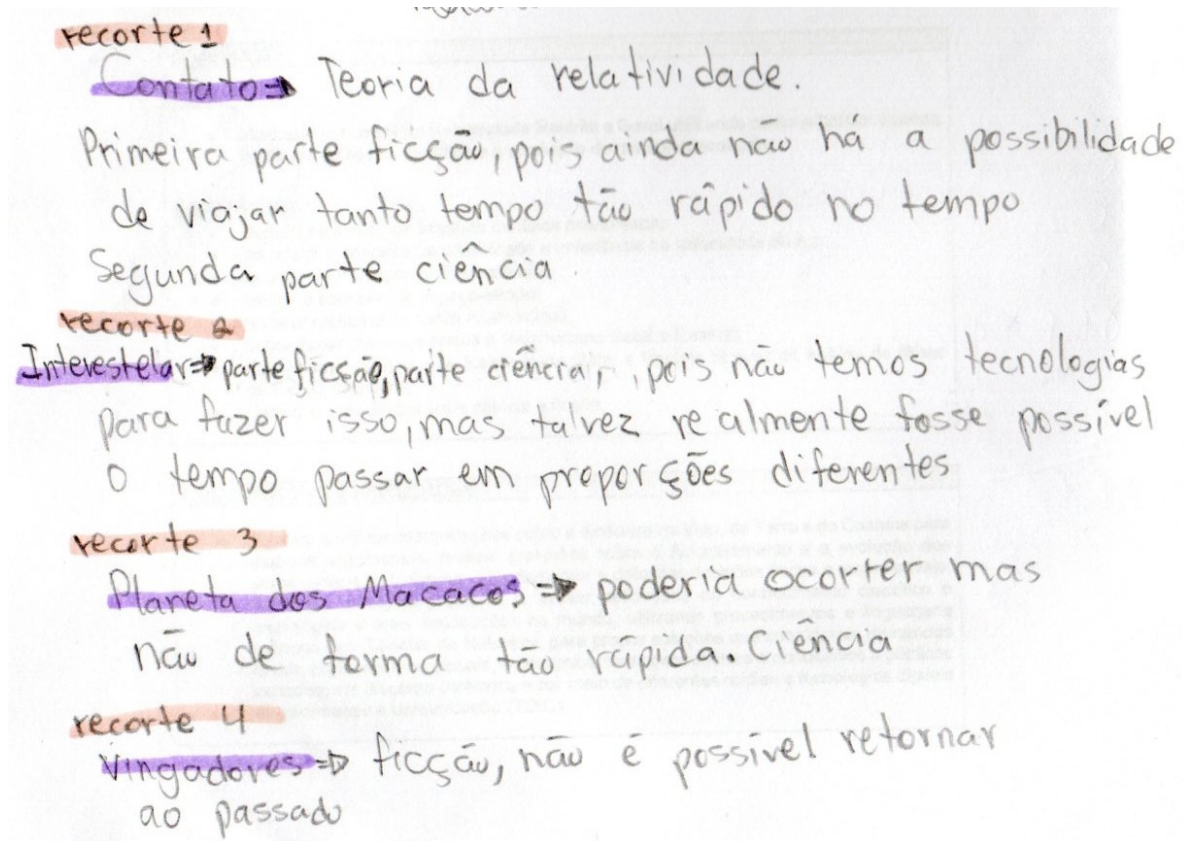
Figura 27 - Cena do filme “De volta para o Futuro”



Fonte: DE VOLTA para o Futuro II (1989)

5.1.2 Grupo 02

Figura 28 - Anotações do grupo 02 sobre os recortes



Fonte: O Autor

Vingadores Ultmato

Cena em que os vingadores (figura 29) utilizam uma máquina para voltar no tempo e recuperar as joias do poder.

Figura 29 - Cena do filme “Vingadores Ultimato”



Fonte: OS VINGADORES: Ultimato (2019)

Planeta dos macacos (2001)

A cena descreve o momento em que a cápsula atravessa um buraco de minhoca e, conseqüentemente, avança para o futuro, percebida somente quando se olha para o painel da cápsula (figura 30).

Figura 30 - Cena do filme “Planeta dos macacos”



Fonte: PLANETA DOS MACACOS (2001)

Interstellar

Nessa cena o Joseph Cooper (figura 31) acorda na estação Cooper após ter caído no buraco negro, sendo que sua idade agora é de 124 anos, mas com aparência de 35 anos.

Figura 31 - Cena do filme “Interstellar”



Fonte: INTERESTELAR (2014)

Contato

Momento da cena em que dois cientistas (figura 32) conversam sobre dilatação do tempo, a cientista está sendo analisada, pois não tem comprovações de sua viagem, a não ser pela estática em sua gravação de vídeo.

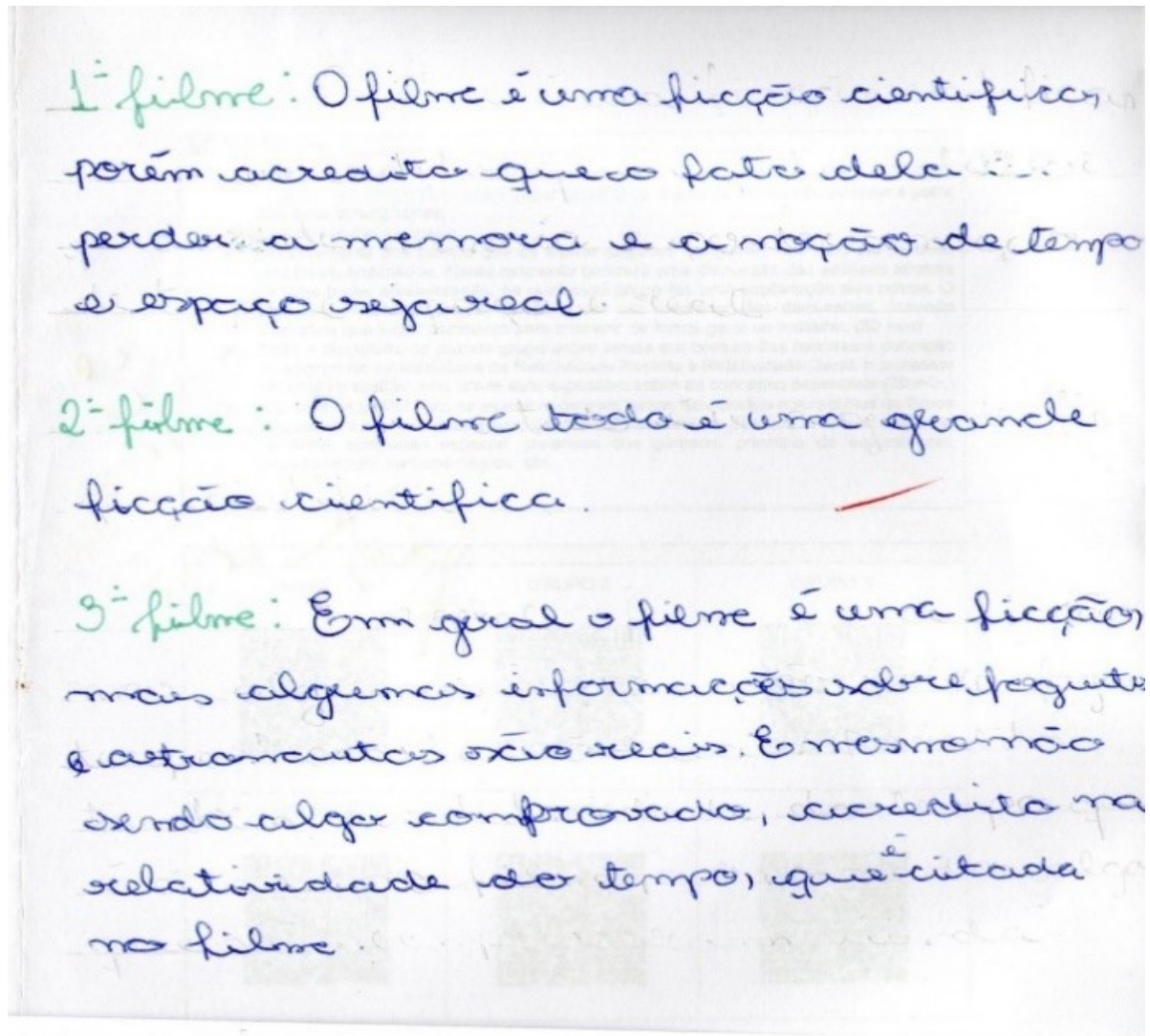
Figura 32 - Cena do filme “Contato”



Fonte: CONTATO (1997)

5.1.3 Grupo 03

Figura 33 - Anotações do grupo 03 sobre os recortes.



Fonte: O Autor

Interstellar

Nessa cena Joseph Cooper (figura 34) conversa com sua filha e explica a dilatação temporal por ficar próximo ao buraco negro "Gargantua", depois os astronautas sofrem a ação da dilatação temporal do planeta Miller.

Figura 34 - Cena do filme “Interstellar”



Fonte: INTERESTELAR (2014).

De volta par o Futuro

Na cena Marty McFly (figura 35) está fugindo de terroristas e acaba atingindo a velocidade de viagem no tempo do Delorean, pois o Dr. Emmertt Brownm já havia ajustado os dados de viagem.

Figura 35 - Cena do filme “De volta para o Futuro”



Fonte: DE VOLTA para o Futuro II (1989)

Contato

Momento em que a cientista Elie viaja através de um buraco de minhoca (figura 36) para região de Veja, ela faz uma viagem de 18 horas, no entanto para quem ficou na terra passou uma fração de segundos.

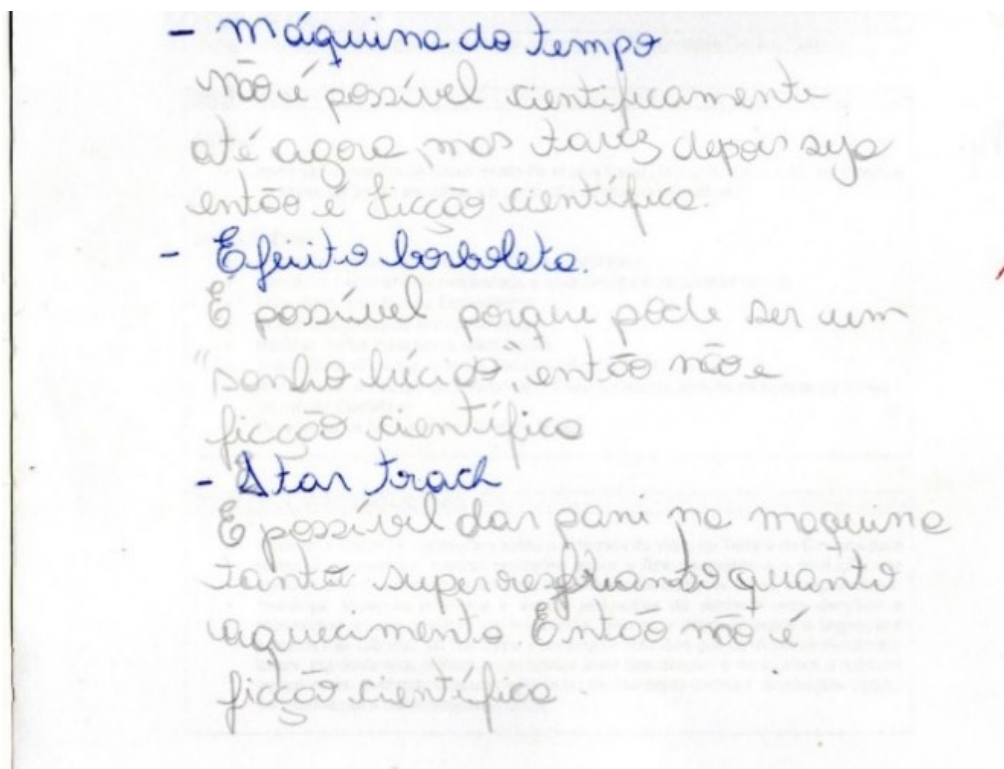
Figura 36 - Cena do filme "Contato"



Fonte: CONTATO (1997)

5.1.4 Grupo 04

Figura 37: Anotações do grupo 04 sobre os recortes.

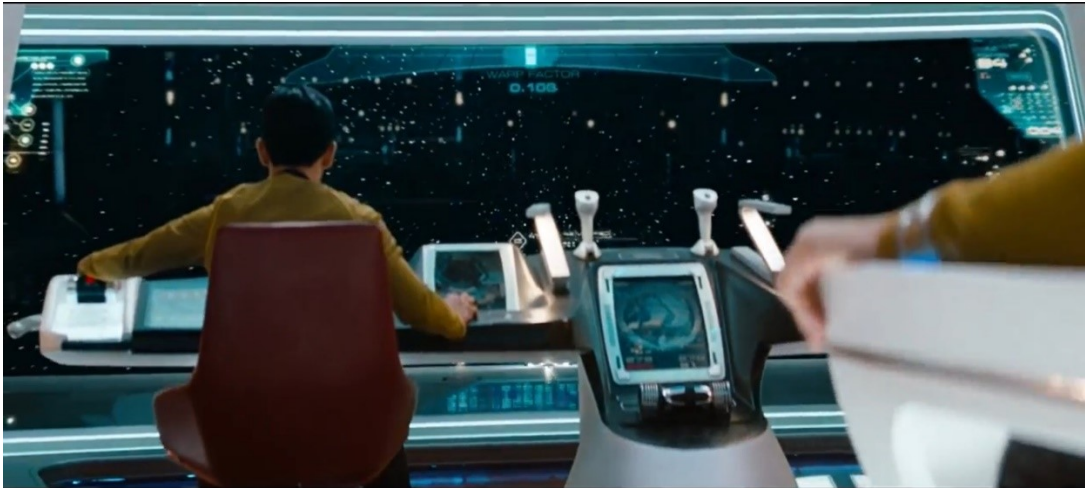


Fonte: O Autor

Star Trek

A cena descreve o momento em que Enterprise (figura 38) é ajustada e entra em dobra espacial.

Figura 38 - Cena do filme “Star Trek”



Fonte: STAR Trek (2009)

Efeito borboleta (2004)

Cena descreve o momento em que Evan volta no tempo, a comprovação do ocorrido é uma marca de queimadura de cigarro (figura 39) em sua barriga que aparece.

Figura 39 - Cena do filme “Efeito borboleta”



Fonte: EFEITO BORBOLETA (2004)

A máquina do tempo

Nessa cena o cientista Alexander Hartdegen (figura 40) resolve testar sua máquina do tempo e viaja para o futuro, de dentro da máquina, ele consegue observar os objetos e a natureza envelhecendo.

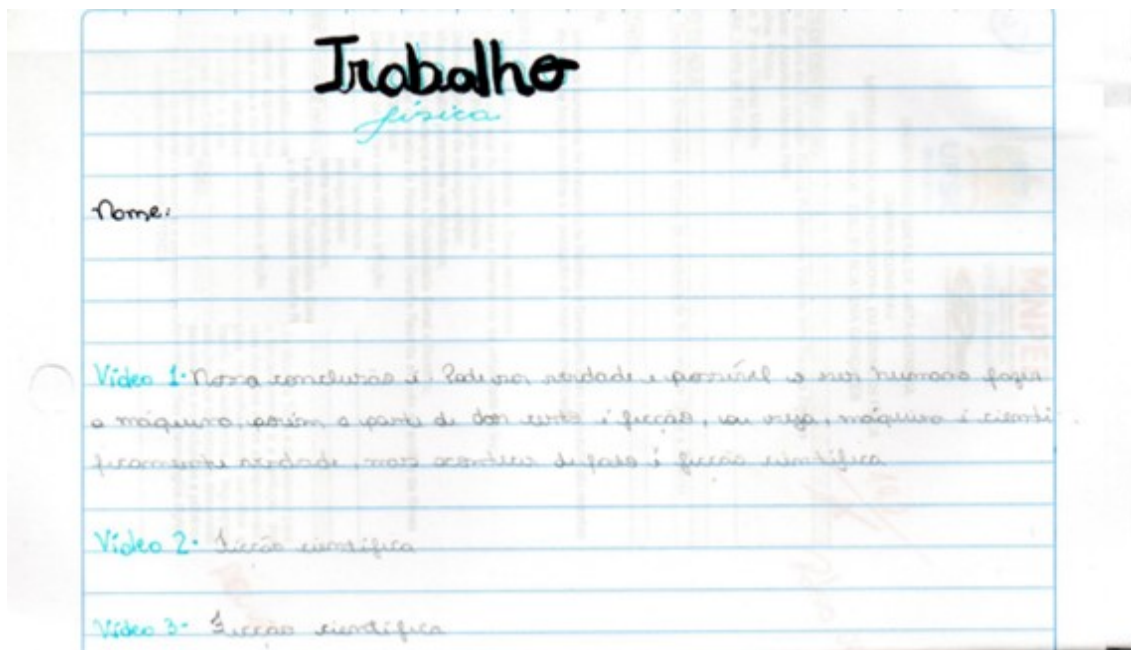
Figura 40 - Cena do filme “A máquina do tempo”



Fonte: A MÁQUINA DO TEMPO (2002)

5.1.5 Grupo 05

Figura 41 - Anotações do grupo 05 sobre os recortes.



Fonte: O Autor

Star Trek

Nessa Cena de Star Trek (figura 42) duas naves espaciais caem em um buraco negro e a primeira a passar espera pela segunda nave por 25 anos para atacá-la.

Figura 42 - Cena do filme “Star Trek”



Fonte: STAR Trek (2009)

Doutor estranho

A cena descreve o momento em que o Dr. Stranger (figura 43) manipula o tempo com a joia do tempo e faz com que o sânscrito destruído seja reconstruído, voltando o tempo para instantes antes dele ter sido atacado. Seu objetivo é salvar a humanidade da dimensão negra.

Figura 43: Cena do filme “Doutor Estranho”

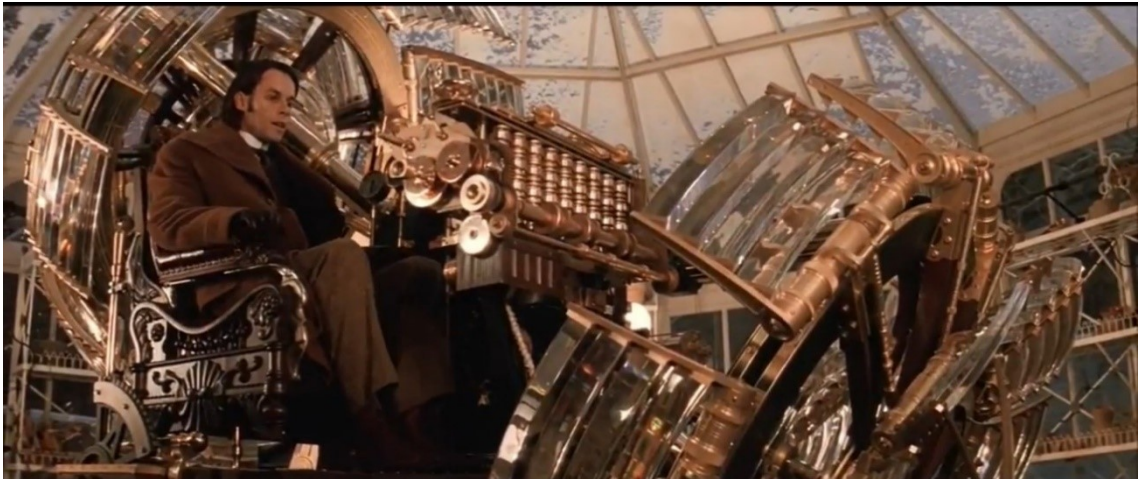


Fonte: DOUTOR Estranho (2016)

A máquina do tempo

A cena descreve o momento em que cientista Alexander Hartdegen (figura 44) termina de construir sua máquina do tempo e vai testá-la, a volta no tempo é percebida pelo movimento anti-horário dos relógios.

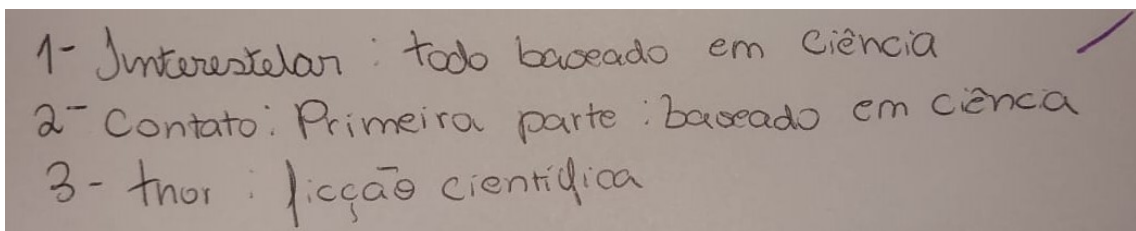
Figura 44 - Cena do filme “A máquina do tempo”



Fonte: A MÁQUINA DO TEMPO (2002)

5.1.6 Grupo 06

Figura 45 - Anotações do grupo 05 sobre os recortes.



Fonte: O Autor

Thor

Cena em que o Thor e seus amigos pedem para Heimdall abrir a Bifrost (figura 46) para eles viajarem ao planeta dos gigantes de gelo.

Figura 46 - Cena do filme “Thor”



Fonte: THOR (2011)

Interestelar

Essa cena descreve o momento em que a nave circula próximo ao horizonte de eventos do buraco negro Gargantua (figura 47) e deixar cair o módulo de Tars e o módulo de Cooper para poder salvar a Dr. Brand, utilizando da terceira de lei Newton.

Figura 47 - Cena do filme “Interestelar”



Fonte: INTERESTELAR (2014)

Contato

Cena em que o grupo de astrônomos (figura 48) recebem um sinal de Vega e começam a interpretá-lo e, então, falam da distância e de onde está vindo o sinal, que é de 26 anos-luz.

Figura 48 - Cena do filme “Contato”



Fonte: CONTATO (1997)

5.2 ENCONTRO 02

Primeiro momento: Na aula do 21 de fevereiro o professor inicia dando uma breve noção sobre o que é ficção científica (figura 49) e o que é ciência real, delimitando os dois temas, lembrando que as anotações feitas pelos alunos na aula anterior eram conhecimento empírico sobre o assunto, dessa forma, todos estão corretos.

Figura 49 - Turma socializando sobre os recortes



Fonte: O Autor

Na sequência os grupos passaram a fazer uma socialização das cenas analisadas, os grupos davam uma breve sinopse do recorte e em seguida comentavam sobre o que haviam anotado.

Após o comentário dos grupos, o professor, quando achava necessário, fazia um breve comentário sobre o que eles haviam anotado, dando informação sobre a parte científica da cena analisada pelo grupo.

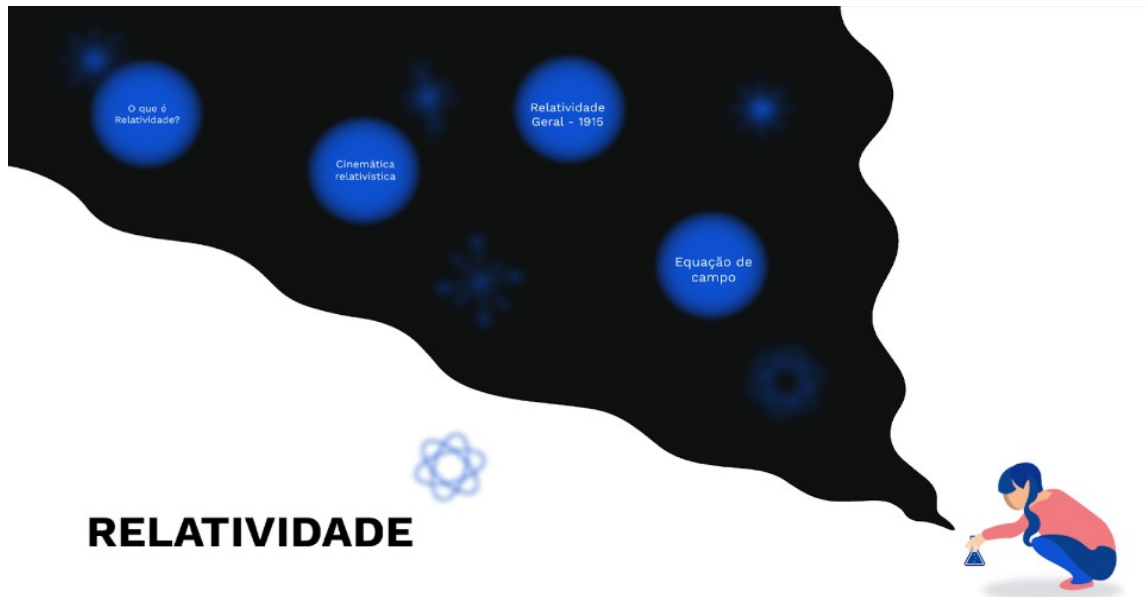
Essa atividade acabou se estendendo à aula do dia 22 de fevereiro, pois os alunos demonstraram interesse pelos assuntos tratados nos recortes e sendo assim passou a ter uma interação para entender as cenas.

5.3 ENCONTRO 03

Primeiro momento: Na aula do dia 07 de março o professor utilizou o projetor para fazer uma apresentação via PREZI (figura 50) sobre os principais conceitos de Relatividade Especial (RE) e Relatividade Geral (RG), o professor utilizou alguns vídeos demonstrativos para melhor compreensão dos conceitos.

Essa atividade acabou por ser aplicada, também, na aula do dia 08 de março (figura 51), pois durante a apresentação de slides os alunos levantavam dúvidas e questionamentos sobre os temas abordados.

Figura 50 - Apresentação do Prezi sobre relatividade



Fonte: O Autor

Figura 51 - Professor fazendo apresentação do Prezi sobre Relatividade



Fonte: O Autor

Segundo momento: Na aula do dia 14 de março os grupos foram novamente reunidos e o professor passou a senha de acesso à internet aos alunos. Com base na apresentação sobre RE e RG os alunos voltaram a visualizar os recortes,

Nesse novo momento, cada grupo passou a discutir sobre os recortes com uma visão mais aprofundada, pois agora já possuíam conhecimento científico sobre RE e RG, as análises passaram a ser mais aprofundadas, tendo como objetivo identificar, nos recortes, efeitos relacionados à teoria da relatividade: dilatação temporal, contração de comprimento, paradoxo dos gêmeos, buracos negros, ponte de Einstein-Rose, princípio de equivalência, etc.

5.4 ENCONTRO 04

Primeiro momento: Na aula do dia 15 de março o professor iniciou passando a senha de acesso da internet. Os grupos foram reorganizados e receberam um roteiro orientado para discutir aspectos sobre o movimento relativo. Seguindo o roteiro, os grupos assistiram a alguns recortes e responderam as atividades do roteiro. O professor sempre que solicitado auxiliou os grupos na análise para responder às questões do roteiro. A principal discussão do roteiro foi sobre o movimento relativo (figura 52) entre o protagonista do filme “De volta para o futuro”, Marty McFly, e outros corpos.

Segundo momento: Na aula do dia 21 de março os alunos receberam, no início da aula, a senha de acesso à internet e sentaram-se com os respectivos grupos. Nesse momento eles receberam o roteiro sobre princípio de equivalência (figura 53), e puderam acessar novos recortes de filme. No primeiro momento dessa aula, o professor resolveu, na lousa branca, como calcular a gravidade da Terra, como forma de explicação e exemplo para fazer o roteiro. A partir deste momento os alunos passaram a discutir o roteiro e resolvê-lo com orientação do professor, em caso de dúvidas.

Figura 52: Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal



Fonte: O Autor

Na atividade de cálculo da gravidade da Estação Espacial Internacional (ISS) o professor orientou sobre a distância a ser utilizada para o cálculo e, na atividade de calcular a velocidade angular, o professor também orientou os grupos em relação à igualdade das forças a serem usadas para determinar a velocidade angular.

Terceiro momento: A atividade a ser desenvolvida no dia 22 de março foi um roteiro sobre desvio da luz/buracos negros, os alunos receberam a senha de internet para acessar o trecho do filme INTERSTELAR e o vídeo que faz a demonstração do eclipse solar de sobral. Os alunos se reorganizaram em grupos para poder, então, discutir o roteiro e resolver as questões propostas, sobre a orientação e ajuda do professor. Nessa atividade os grupos conseguiram perceber que a luz se curva na primeira situação do roteiro e o professor orientou os grupos, via exposição em lousa branca, para calcular a velocidade de escape da Terra. O professor também orientou os grupos durante a resolução da questão que tratava do raio de Schwarzschild.

Figura 53 - Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal.



Fonte: O Autor

Quarto momento: No dia 28 de março iniciou-se a aula com organização dos grupos novamente e o professor passando a senha de acesso à internet. Após isso, o professor forneceu aos grupos o roteiro referente à dilatação temporal e os orientou na resolução das atividades ao longo da aula. Os alunos enfrentaram certa dificuldade para concluir essa atividade, porém, com a orientação fornecida pelo professor, eles conseguiram superar os obstáculos e avançar no desenvolvimento do tema. Através da orientação recebida, os alunos puderam compreender melhor os conceitos envolvidos na dilatação temporal e aplicá-los de forma adequada na resolução das atividades propostas. Essa experiência proporcionou um aprendizado significativo, permitindo que os alunos adquirissem maior domínio sobre o tema e desenvolvessem suas habilidades de resolução de problemas relacionados à dilatação temporal (figura 54).

Figura 54 - Resolvendo roteiros de: Movimento relativo, Princípio de equivalência, Desvio da luz e Dilatação temporal.



Fonte: O Autor

5.5 ENCONTRO 05

Primeiro momento: A aula do dia 29 de março iniciou-se com a montagem dos grupos e a passagem da senha de acesso à internet.

Durante as aulas de Física, o professor adotou uma estratégia de aprendizagem ativa ao entregar quatro modelos de mapa conceitual aos grupos de alunos. Essa abordagem visava estimular a construção de conhecimento por parte dos estudantes, utilizando como base as atividades e os conteúdos abordados até aquele momento.

A partir dessa proposta, os alunos foram encorajados a analisar as atividades trabalhadas em sala de aula, assim como as informações apresentadas pelo professor, a fim de desenvolverem seus próprios mapas conceituais (figura 55 – 58). Esses mapas consistiam em representações visuais que organizavam os conceitos e suas inter-relações, facilitando a compreensão e a assimilação dos conteúdos estudados.

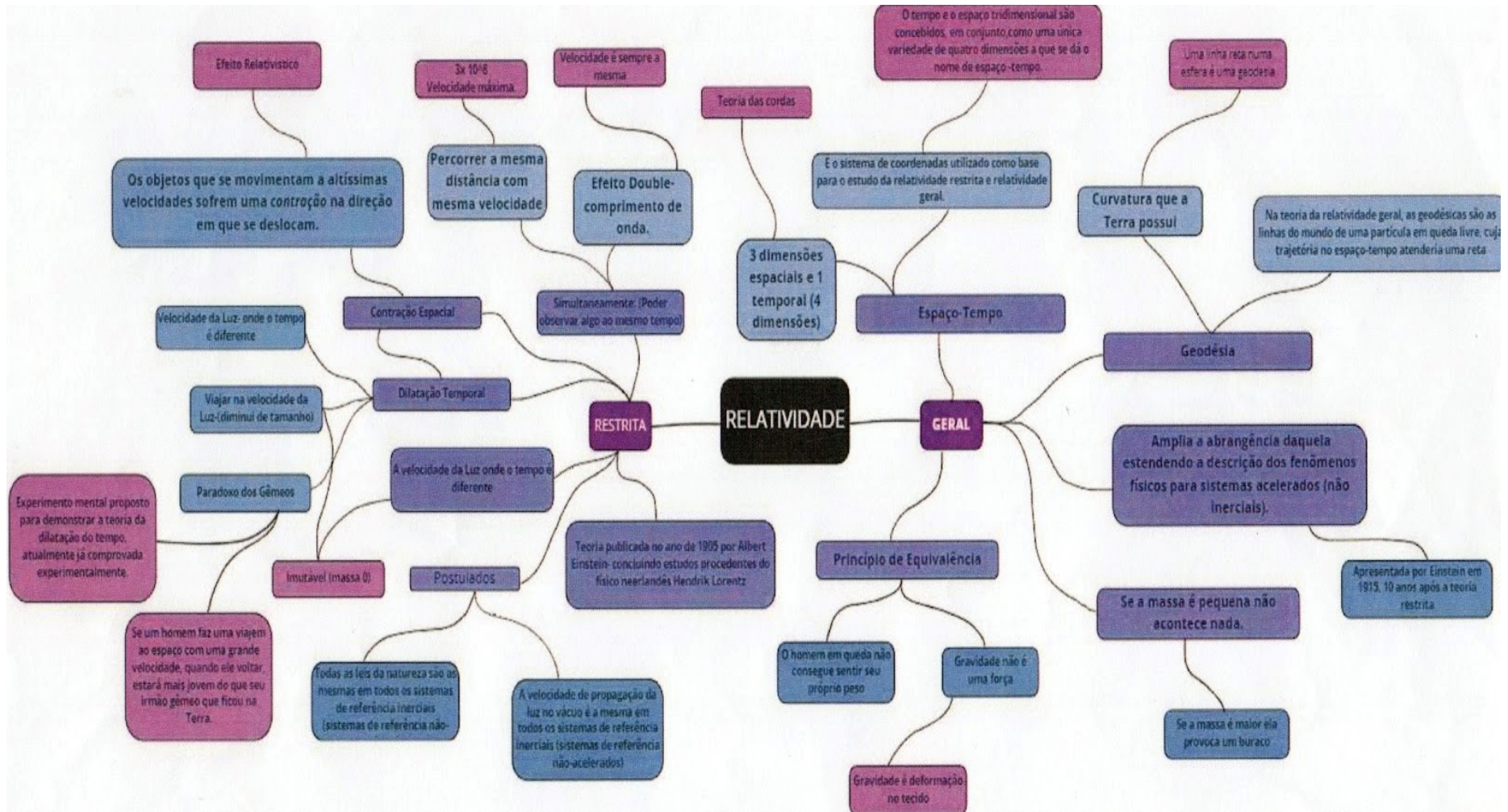
Essa atividade permitiu aos alunos um envolvimento mais ativo e reflexivo na construção do conhecimento, pois eles precisaram identificar os principais pontos abordados nas aulas, relacioná-los de forma coerente e representá-los graficamente.

Dessa forma, os estudantes desenvolveram habilidades de análise, síntese e organização de informações, além de aprimorarem sua compreensão dos conceitos físicos.

O uso dos mapas conceituais como ferramenta pedagógica proporcionou uma maior autonomia aos alunos, incentivando-os a refletir sobre o próprio aprendizado e a criar conexões entre os diferentes elementos do conhecimento científico. Além disso, essa abordagem contribuiu para uma compreensão mais profunda dos conceitos estudados, uma vez que os alunos tiveram que representá-los de forma clara e organizada.

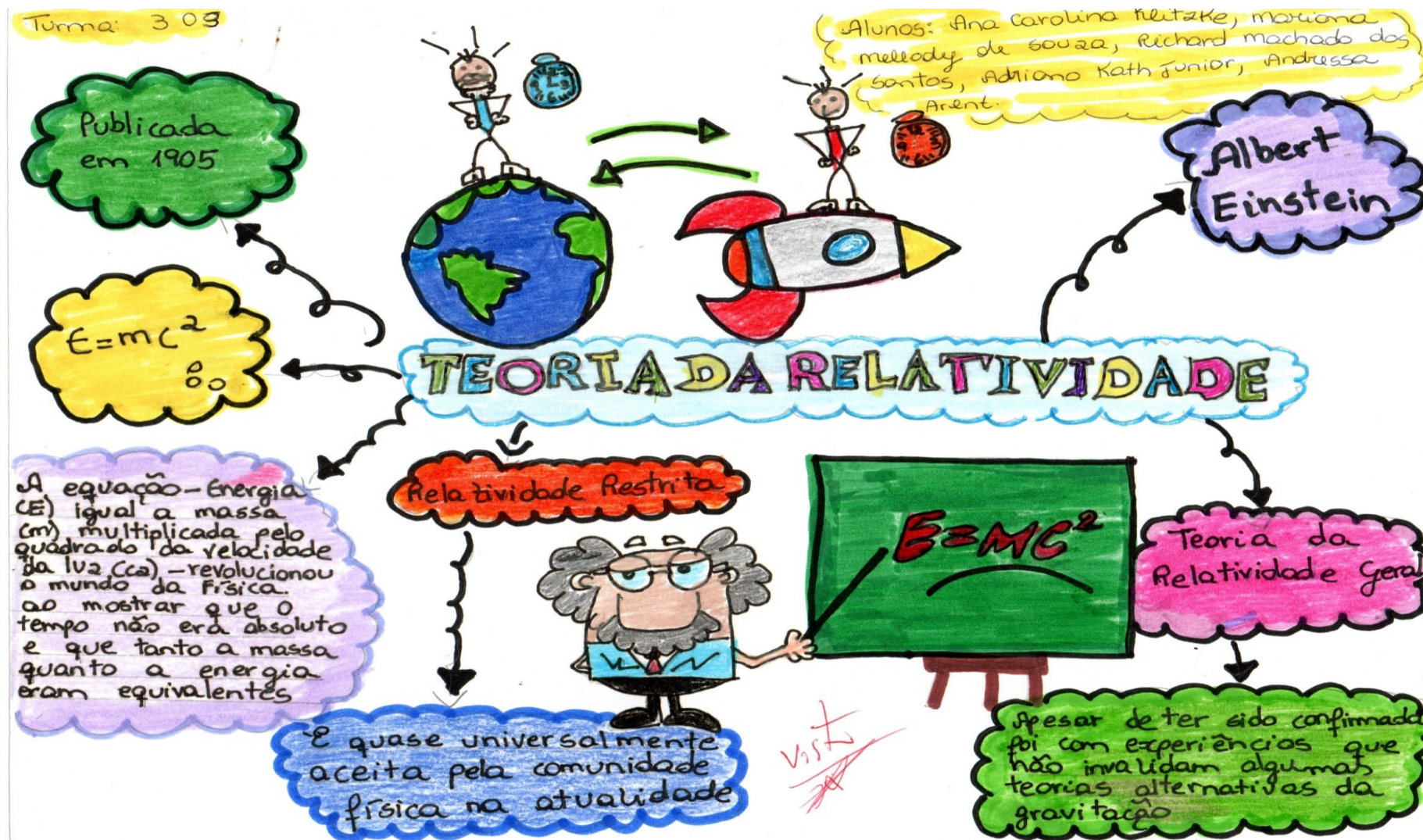
Em suma, a atividade de construção de mapas conceituais promovida pelo professor possibilitou aos alunos uma aprendizagem mais ativa, participativa e significativa. Ao analisar as atividades e a apresentação feita pelo professor, os estudantes desenvolveram suas próprias representações visuais do conhecimento, consolidando assim sua compreensão dos conceitos de Física trabalhados até o momento.

Figura 55 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos



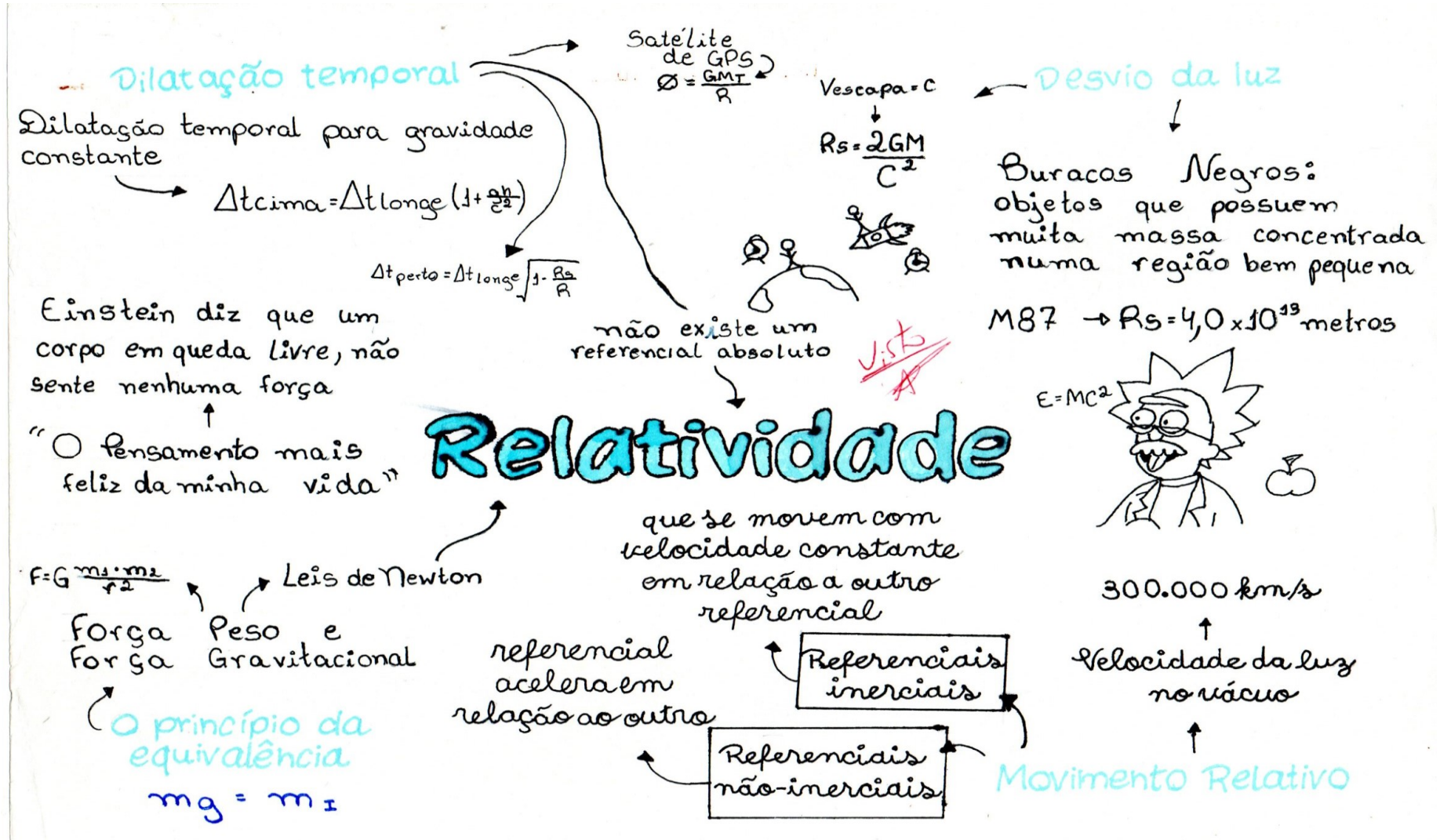
Fonte: O Autor

Figura 56 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos



Fonte: O Autor

Figura 57 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos



Fonte: O Autor

Figura 58 - Mapa conceitual produzido por um dos grupos



Fonte: O Autor

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Aplicando o produto didático, percebe-se que ao iniciar o assunto por meio de filmes de ficção científica consegue-se ter um bom motivador para a aula e o assunto tratado partindo dos filmes aguça ainda mais a curiosidade dos alunos, dessa forma as aulas passaram a ser mais atrativas para os alunos e para o professor.

Nesse sentido os filmes de ficção passam a ser uma boa UEPS, fazendo com que os alunos, utilizando-se dos seus subsunçores dos filmes para poder aprimorar para o conhecimento científico.

Os alunos ficavam apreensivo para a aula subsequente, alguns alunos chegaram a falar comecei a gostar de física agora e que a partir de agora não iria mais assistir os filmes da mesma forma que assistia até então.

Ao ser inserido os roteiros com contexto sobre temas de relatividade passou então a fazer mais sentido os conceitos e conclusivamente a motivação dos respectivos cálculos necessários em cada roteiro.

A realização do produto foi bastante prazerosa e gostosa, mas devem ser feito alguns ajustes ao mesmo em relação ao tempo de aplicação, para o primeiro momento mantem-se uma aula de 45 min, para o segundo momento devem ser duas aulas para discussão dos grupos sobre ciência e ficção científica e duas aulas para passar os conceitos de relatividade ao qual eu fiz via apresentação do PREZI e mais uma aula para atividade de análise dos conceitos de relatividade nos recortes.

No roteiro sobre movimento relativo foi uma atividade bem desenvolvida pelos alunos, na qual os mesmos conseguiram realizar a mesma sem muitos problemas, conseguindo perceber os conceitos.

No roteiro de Princípio de equivalência, o professor teve que resolver a gravidade da terra como forma de exemplo e as outras atividades do roteiro os alunos conseguiram desenvolve-las, pedindo novo auxilio na atividade de gravidade artificial.

No roteiro de desvio da luz os alunos conseguiram perceber a curvatura que a luz sofre, dessa forma significa que os mesmos compreenderam o conceito, nos cálculos percebeu-se que teve um pouco de dificuldade para desenvolver todos na aula destinada.

No roteiro de dilatação temporal percebeu-se que uma aula foi insuficiente para desenvolver a atividade, a mesma se tornou um pouco extensa para ser feita em

uma aula, pois a mesma demandava mais tracejo matemático para o desenvolvimento.

Mas ao final quando foi produzido o mapa conceitual, foi possível perceber que os alunos conseguiram ter um bom aproveitamento das atividades, pois as mesmas foram trabalhadas de uma forma a despertar o conhecimento, pois as mesmas tinham contextualização e motivadores para, nesse sentido os alunos comentaram que agora irão assistir filmes de forma diferente.

Os alunos declararam que as aulas de física foram muito atrativas por ser uma sequência a qual a construção do conhecimento ocorreu passo a passo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No atual cenário do ensino médio, o conteúdo de Relatividade Restrita e Geral é frequentemente abordado de forma superficial e, muitas vezes, deixado para o final do ano letivo, caso haja tempo disponível. Diante desse contexto, foi proposta a criação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) visando aprimorar a aprendizagem dos alunos nessa área específica.

A UEPS desenvolvida para tratar dos conceitos de relatividade teve como estratégia a utilização de recortes de filmes de ficção científica em uma sequência, com o intuito de despertar o interesse dos alunos. A partir desses filmes, foram introduzidos roteiros embasados em fundamentos científicos.

Como resultado, observou-se que os alunos manifestaram um maior interesse pelo tema da relatividade, uma vez que as aulas se tornaram mais dinâmicas. A abordagem adotada partia de conhecimentos prévios dos estudantes para apresentar uma nova perspectiva, aplicando o conhecimento científico adquirido ao longo do processo do roteiro.

É relevante ressaltar que ao longo da aplicação da sequência, foram necessárias algumas adaptações devido ao número insuficiente de aulas para alguns roteiros. Isso ocorreu devido ao entusiasmo dos alunos em relação ao assunto, o que demandou um tempo maior para a discussão de determinados temas nos respectivos roteiros. Isso foi evidente no momento 01, dedicado à análise dos recortes, e no momento 02, que consistia em uma breve apresentação sobre Relatividade Restrita e Geral no roteiro sobre dilatação temporal.

A aplicação do produto didático também foi realizada no contexto do Novo Ensino Médio (NEM), mais especificamente na componente curricular eletiva (CCE) de conhecimento científico em ciências da natureza. Essa abordagem obteve melhores resultados, uma vez que a CCE dispõe de mais tempo para explorar o assunto, além de contar com uma turma composta por alunos que demonstram interesse no tema. Esses fatores estimularam os alunos a compreender e assimilar os conceitos tratados nos roteiros.

Ao finalizar a aplicação do produto educacional no âmbito do mestrado, percebeu-se que essa atividade desenvolvida no formato proposto proporcionou maior prazer pela aprendizagem aos estudantes. A UEPS revelou-se uma atividade

interessante tanto para os alunos quanto para o professor, que sentiu uma enorme satisfação ao testemunhar a dedicação dos educandos durante as atividades.

Em suma, a utilização de filmes e roteiros como recursos pedagógicos na UEPS mostrou-se uma abordagem eficaz para tornar a aprendizagem da Relatividade Restrita e Geral mais envolvente e estimulante. Essa metodologia proporcionou uma experiência de aprendizagem mais significativa para os alunos, reforçando a importância da aplicação da UEPS no ensino desses conceitos.

8 REFERÊNCIAS

[Moreira UEPS] MOREIRA, Marcos Antônio. **Unidades de ensino potencialmente significativas**, Porto Alegre, Versão 6. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> Acesso em: julho de 2016.

2001: UMA ODISSÉIA NO ESPAÇO. Direção de Stanley Kubrick. Estados Unidos: Century Fox, 1968. (142 min).

A MÁQUINA DO TEMPO. Direção de Simon Wells. Estados Unidos: DreamWorks e Warner Bros, 2002. 1 DVD (96 min)

ACEVEDO, O. A.; MORAIS E. M. de; PIMENTEL, B. M. **O Princípio de Equivalência**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, volume 41, nº 3, 2019.

ALMEIDA, Fabiana Ribeiro de. **A ficção científica na ficção escolar: investigando as potencialidades do gênero no ensino de física'** 01/03/2008 87 f. Mestrado em EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA E O ENSINO DE MATEMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, MARINGÁ Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da Universidade Estadual de Maringá

BAQUI, Pedro Otavio Souza. **Buracos Negros Newtonianos e Relativísticos**. Vitória, 2014. Monografia (Bacharel em Física) – Departamento de Física/CCE, Universidade Federal do Espírito Santo.

BORGES, A. T. Novos Rumos Para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino Física**, v. 19, n. 3, dez. 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM+): Física. Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

CARVALHO, A. M. P. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-20. 2013.

CHITOLINA, Diogo. Pêndulo simples dentro de um avião – Repouso ou movimento. Youtube, 4 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://youtu.be/4J7mn4RtnvM>>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.

CHITOLINA, Diogo. Referencial Inercial – Pêndulo no avião. Youtube, 5 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://youtu.be/XAqWqF1wF44>>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.

Construindo possibilidades para o ensino de física: a experiência didática do “cine física”

CONTATO. Direção de Robert Zemeckis. Estados Unidos: Warner Bros, 1997. 1 DVD (150 min.).

DE VOLTA para o Futuro II. Direção de Robert Zemeckis. Estados Unidos: Fox Studios, 1989. DVD (108 min.).

DOUTOR Estranho. Direção de Scott Derrickson. Estados Unidos: Marvel studios, 2016. 1 DVD (115 min.).

EFEITO BORBOLETA. Direção de Eric Bress e J. Mackye Grube. Estados Unidos: New Line Cinema, 2004. 1 DVD (113 min)

EINSTEIN, Albert. **A teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução: Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-20. 2013.

FAGUNDES, Helio **Teoria da relatividade: no nível matemático do ensino médio**. São Paulo: Editora livraria da Física, 2009.

HENRIQUES, Alfredo Barbosa. **Teoria da Relatividade Geral uma Introdução**. 1ª edição. Lisboa: Editora IST Press, 2009.

INTERESTELAR. Direção de Christopher Nolan. Estados Unidos e Reino Unido: AIR Studios, 2014. 1 DVD(169 min.).

LUCINDA, Jair. Princípio da relatividade de Galileu. Youtube, 5 de junho de 2013. Disponível em: <<https://youtu.be/DUOShbOWcRA>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

LUCINDA, Jair. Relatividade de Galileu. Blogspot. 14 de outubro de 2013. Disponível em:<<http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

MACHADO, Rodrigor R; TORT, Alexandre C; ZARRO, Carlos A D. **O princípio da equivalência: Uma introdução à relatividade geral**. A Física na Escola, São Paulo, volume 19, nº 2, p. 3 – 14, outubro, 2021.

MARTIN-DIAZ, M. J. et al. **Science Fiction Comes into The Classroom: Maelstrom II**. Phys. Educ. 27, 1992. 18-23.

MORAIS, Eduardo Messias de. **Modelo Unificado para o Fluido Cosmológico**. Graduação em Bacharelado Interdisciplinar de Ciência Tecnologia – UNIFAL. Minas Gerais, 2011.

MOREIRA, Marcos Antônio e MASSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marcos Antônio. **A física dos quarks e a epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a01v29n2.pdf>>. Acesso em: 19 de novembro de 2019.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo-SP: Editora Gen, 2011.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS**, Aprendizagem Significativa em Revista, v 1, n. 2, 2011.

MOREIRA, Marcos Antônio; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias Construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física-UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de física, n.10)

NITTA, Hideo. et al. **Guia mangá relatividade**. São Paulo: Editora Novatec, 2011.

NUSSEZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**. Volume 1: Mecânica, 5ª edição. São Paulo: Blucher, 2013.

NUSSEZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**. Volume 4: Mecânica, 5ª edição. São Paulo: Blucher, 2013.

OS VINGADORES: Ultimato. Direção de Anthony Russo e Joe Russo. Estados Unidos: Marvel Studios, 2019. 1 DVD(181 min.).

PIASSI, L. P, GOMES, E. F e RAMOS, J. E. F. **Literatura e cinema no ensino de física: interfaces entre a ciência e a fantasia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

PIASSI, L. P. C. **CLÁSSICOS DO CINEMA NAS AULAS DE CIÊNCIAS - A FÍSICA EM 2001: UMA ODISSEIA NO ESPAÇO**. Ciênc. Educ., Bauru, v. 19, n. 3, p. 517-534, 2013

PIASSI, L. P. C. **Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sociocultural**. 2007. 453 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PIASSI, L. P. e PIETROCOLA, M. **Ficção científica e ensino de ciências: para além do método de ‘encontrar erros em filmes**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 525-540, set/dez.2009.

PIETROCOLA, Maurício. Et al. **Física em contextos**. Volume 3: Ensino Médio. – São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PLANETA DOS MACACOS. Direção de Tim Burton. Estados Unidos: Twennth Century Fox, 2001. 1 DVD (110 min.).

Projeto Sophia. Queda Livre o Movimento Vertical. Disponível em <<https://www.projetosophia.com.br/blog/fisica/queda-livre-e-lancamento-vertical.php>> Acesso em 10 abril de 2023.

RODRIGUES, Carla Moraes. **A inserção da física moderna no ensino médio aliada à tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS)**. Santa Maria, RS, Brasil – 2011.

RODES, G. P. “**O processo de implementação de uma sequência de ensino investigativa e o desenvolvimento de conceitos relacionados à hidrostática no Ensino Médio**”. Dissertação (Mestrado em Física) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

ROGERS, C. R. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte, Interlivros, 1972.

SANTOS, Gabriela Martins dos. Teoria da Relatividade Restrita. Projeto Olímpicos. 27 de novembro de 2020. Disponível em: <https://olimpicos.net/wp-content/themes/olimpicos/assets/includes/cursodeastro/pdfs/Relatividade_Restrita-1.pdf> Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

STAR Trek. Direção de J. J. Abrams. Estado Unidos: COR, 2009. 1 DVD (126 min).

THOR. Direção de Kenneth Branagh. Estados Unidos: Marvel studios, 2011. 1 DVD (114 min.).

VYGOTSKY, L. S. **A Formação social da mente**. 4 ed. São Paulo – SP: Livraria Martins, 1991.

WOLFF, J. F. de S. e MORS, P. M. **Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física; editores Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit - Vol. 16, n. 5 (2005).

APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF
POLO 52

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE FILMES.

BLUMENAU

2023

Adavilson Martins Pins

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA
RELATIVIDADE GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE FILMES

Este produto educacional é parte integrante da dissertação:
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE
GERAL E RESTRITA A PARTIR DE RECORTES DE
FILMES desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 52 –
UFSC/CEE-CTE, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Esley Scatena Gonçalves

Blumenau

2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao Professor Dr. Esley Scatena Gonçalves, por toda a disponibilidade, compreensão e orientação na decorrência da produção do produto educacional e no decorrer desta dissertação.

À coordenação do Mestrado Profissional em Ensino de Física que acreditou na minha capacidade e me possibilitou a realização do curso.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFSC de Blumenau, pela parceria, dedicação, paciência na execução dos trabalhos, sabedoria compartilhada e comprometimento com a causa da educação.

A todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado incentivando e apoiando em especial a minha irmã Dilamar Martins Pins Pischeidt e ao meu pai Francisco Martins Pins.

Aos colegas e amigos mestrandos de turma por momentos de aprendizado, companheirismo e descontração.

Aos meus alunos que participaram do projeto com empenho e dedicação.

À equipe da EEB Prof^a. Valdete Inês Piazero Zindars por oportunizar a aplicação do produto educacional na instituição.

Às professoras e amiga Michelli Cunha Cesar, Nádia Jerusa Rodermel e ao professor Jean Carlos Neckel por todo o apoio na escrita desta dissertação.

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

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	5
1.1.	FICÇÃO CIENTÍFICA NO CINEMA.....	5
2.	OBJETIVOS	9
2.1.	OBJETIVO GERAL	9
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3.	UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA SOBRE ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE FILMES DE FICÇÃO CIENTÍFICA.....	10
4.	UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.....	13
4.1.	ENCONTRO 01 (1 AULA): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)	13
4.1.1.	Momento 01.....	14
4.2.	ENCONTRO 02 (2 AULAS): SEGUNDO MOMENTO (90 MIN)	18
3.2.1	Momento 02	19
4.3.	ENCONTRO 03 (3 AULAS): TERCEIRO MOMENTO (135 MIN)	22
4.3.1.	Momento 03.....	23
4.4.	ENCONTRO 04 (5 AULAS): QUARTO MOMENTO (240 MIN)	27
4.4.1.	Momento 04.....	28
	MOVIMENTO RELATIVO.....	31
	PRINCÍPIO DE EQUIVALÊNCIA.....	36
	DESVIO DA LUZ.....	46
	DILATAÇÃO TEMPORAL.....	54
4.5.	ENCONTRO 05 (1 AULA): QUINTO MOMENTO (45 MIN)	61
4.5.1.	Momento 05 – mapas conceituais dos grupos	62
	RESPOSTAS DAS ATIVIDADES PROPOSTAS.....	64
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
6.	REFERÊNCIAS.....	77

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

Caro(a) professor(a), o produto didático a foi pensado a partir de que os alunos do Ensino Médio têm pouco acesso aos conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea, na qual as aulas de física normalmente são mecanizadas. Esse produto didático acompanha a dissertação de mestrado desenvolvida no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina Campus Blumenau.

Sendo assim foi organizado essa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre Relatividade Restrita/Especial e Relatividade Geral, com o intuito de trabalhar os respectivos assuntos de uma forma mais interessante para os alunos, na qual temos com motivador para as aulas o interesse dos mesmo por filmes de ficção científica.

O produto apresenta uma unidade de ensino potencialmente significativa, a qual os professores podem adaptar ou até mesmo mantê-la, com materiais online, sendo roteiros, planos de ensino e os recortes dos filmes trabalhados. As aulas se iniciam com uma discussão sobre os referidos recortes de filmes. Após uma discussão introdutória sobre o escopo da Relatividade Restrita e Geral, são utilizados roteiros com atividades que estão em um contexto sobre o assunto.

Após o desenvolvimento das atividades, os alunos são convidados a criarem mapas conceituais relacionados aos conteúdos de física abordados ao longo das atividades.

1. INTRODUÇÃO

1.1. FICÇÃO CIENTÍFICA NO CINEMA

A ficção científica (FC) nas telas de cinema não é algo recente, sua primeira apresentação aconteceu na França em 1902 com o “Viagem à Lua”. “A história atribui a George Méliès, com *A Viagem à Lua (Le voyage dans la Lune, 1902)*, o mérito de ter feito o primeiro filme de ficção científica, sendo também o primeiro cineasta associado à ideia de futuro e de tecnologia” (MEDEIROS, 2011, p.33), sendo considerado grande sucesso. A partir desse momento tem-se então o início da FC moderna, a qual os autores reconhecem a dificuldade de defini-la. Alguns defendem que certos aspectos devem prevalecer na sua abordagem, sendo eles as mudanças de nível de ciência e tecnologia, no entanto, para outros, deve conter efeitos humanos de uma “ciência extrapolada”.

Piassi (2003, p. 159-160) descreve “ciência Extrapolada como:

“... uma categoria mais geral, que engloba qualquer forma de utilização de ideias científicas para a produção do conteúdo veiculado no texto. A ciência extrapolada em si não é conteúdo da história, mas um implícito do processo de construção dos elementos, por exemplo, os engenhos. Quanto aos “efeitos humanos”, que também são extrapolados, podemos supor que são resultados de processos, estes, sim, retratados no conteúdo da obra. Além disso, são humanos os efeitos, sendo, portanto, de caráter social, e não natural.”

“Na FC, em particular, tais fatos podem ser concebivelmente derivados do nosso próprio meio social, mediante adequadas mudanças ao nível da ciência e da tecnologia” (Piassi e Pietrocola, 2009).

Desde então filmes de FC têm sido um grande atrativo nas telas do cinema, sempre atraindo um grande público em suas exibições, tendo como espectadores desse gênero alunos do Ensino Médio e despertado assim um grande interesse nos alunos por conhecimentos de Física Contemporânea. Desta maneira, o recorte desses filmes poderá ser utilizado de forma didática para ampliar o interesse dos alunos pelo conhecimento científico apresentado nos filmes de FC.

Por muitas vezes os filmes são vistos como um mecanismo só para matar aula (preencher um período sem intuito nenhum com o conteúdo), sendo utilizado de forma equivocada e de forma desvinculada ao tema a ser trabalhado em sala de aula,

banalizando os filmes em sala de aula, embora os mesmos apresentem grande potencial didático para o ensino.

Morán (1995), apresenta algumas características importante para o aprendizado utilizando-se de filmes:

“O vídeo é sensorial, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí sua força. Somos atingidos por todos os sentimentos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário), em outros tempos e espaço”. (MORÁN, 1995, p.28)

Geralmente os alunos apresentam grandes dificuldades na aprendizagem de Física, pois atualmente o ensino de física está sendo desenvolvido através de três linhas de ensino como forma geral, sendo elas: i) aulas expositivas, ii) resolução de exercícios e iii) problemas e atividades experimentais com roteiro fechado, no qual o aluno é obrigado a realizar a sequência toda na íntegra sem modificações para não alterar o resultado esperado. Assim, os conteúdos trabalhados em sala de aula passam a não ter uma ligação com o cotidiano dos educandos.

Segundo Borges (2002, p. 13) citado por Rodes (2017, p. 16), as aulas com atividades experimentais são:

“Em geral, os alunos trabalham em pequenos grupos e seguem as instruções de um roteiro. O objetivo da atividade prática pode ser o de testar uma lei científica, ilustrar ideias e conceitos aprendidos nas ‘aulas teóricas’, descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, ‘ver na prática’ o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica”. (BORGES, 2002, p. 13)

Apresentado por Carvalho Júnior (2002) citado por Rodes (2017), temos:

“O ensino de Física não pode se contentar em simplesmente solicitar ao aluno que memorize equações e as utilize em problemas elaborados fora de qualquer contexto. Deve-se lutar por um ensino de Física que seja pautado por discussões amplas, com um constante diálogo com o mundo, com a sociedade e com os atores do processo educativo”. (CARVALHO JÚNIOR, 2002, p. 65)

Segundo Moreira (2013 p.17), “receber” o conhecimento, a informação, a ser aprendido em sua forma final é aprendizagem receptiva, no entanto isso não significa que a aprendizagem deve ser de forma passiva, e nem que esteja associada ao ensino

de aula expositiva tradicional. Nesse sentido a “recepção” do conhecimento poder se dar através de filmes.

Diante disso, a oportunidade de utilizar filmes de FC passa a ser uma grande forma para estimular a aprendizagem do conhecimento dos alunos em Física, além de aumentarmos o grau de informação de Física Contemporânea, já que a mesma, na maioria das vezes, é colocada como conteúdo extra nos livros de Ensino Médio. Geralmente aparece no final, e fica sendo um assunto a ser discutido se der tempo pelos professores de física.

“... necessárias atualizações dos conteúdos apontam para uma ênfase à Física contemporânea ao longo de todo o curso, em cada tópico, como um desdobramento de outros conhecimentos e não necessariamente como um tópico a mais no fim do curso. Seria interessante que o estudo da Física no Ensino Médio fosse finalizado com uma discussão de temas que permitissem ...”(PCN+, 2006; p. 26)

Nesse sentido viu-se uma oportunidade de inserir-se a Física Moderna e Contemporânea nas aulas de Física sendo que, em pleno século XXI, isso ainda é em geral visto de forma superficial. Segundo Moreira (2007),

“Na verdade, não tem sentido que, em pleno século XXI, a física que se ensina nas escolas se restrinja à física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de física na educação básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de física moderna e contemporânea, como a física dos quarks abordada neste trabalho. O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e/ou capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não têm é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados, como a cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que partículas elementares”. (MOREIRA,2007, p. 172)

Dessa forma, parte-se do pressuposto da necessidade da inserção da física moderna e contemporânea no Ensino Médio aproveitando que o cinema pode ser uma oportunidade. Nas palavras de Piassi temos:

“O cinema, considerando a ótica pedagógica, atua principalmente pelo despertar da emoção e do envolvimento do estudante. Nesse sentido o cinema é uma manifestação cultural extremamente eficaz no que diz respeito ao entretenimento e pode ser utilizado como um gerador de debates, permitindo a emergência de reflexões em sala de aula. Nesse caso, e no âmbito da Física, a discussão das películas pode corroborar ou refutar o conhecimento prévio trazido pelos estudantes, tornando mais significativa a aprendizagem”. (PIASSI, Gomes e Ramos, 2017, p. 30)

Nesse sentido, percebe-se que os longas-metragens de FC apresentam um grande potencial didático para o Ensino de Física. Com base nesta hipótese, foi decidido fazer a análise de filmes de FC com possível potencial de tópicos de Física Contemporânea que possam ser trabalhados com os alunos, especificamente os tópicos de Relatividade Restrita e Geral.

Contudo, trabalhar filmes de FC em sala de aula apresenta certos desafios, entre eles a duração dos respectivos filmes e sua linguagem de produção, a qual normalmente apresenta uma natureza mais superficial do conhecimento tratado, por exemplo.

“Levar um filme para a sala de aula pode ser muito complicado. Um primeiro empecilho é a duração, freqüentemente de mais de duas horas. É preciso que o filme seja muito bem aproveitado para compensar esse investimento de tempo. Mas há outros problemas. A linguagem cinematográfica é, por natureza, mais superficial do que a escrita e, de certa forma, inibe a imaginação e a criatividade ao exhibir as cenas prontas, sem dar espaço para a elaboração própria do aluno.” (PIASSI, 2007, p. 359)

Pensando nesse sentido optou-se por fazer uma decupagem dos filmes escolhidos, permitindo obter-se estudos mais detalhado dos conceitos físicos a serem abordados em sala de aula, com o intuito de ganhar tempo no âmbito da classe e poder abordar os pontos com maior aprofundamento dos temas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir os limites de validade da física newtoniana;
- Introduzir o conceito de relatividade e invariância da velocidade da luz;
- Enunciar o Princípio da Equivalência;
- Definir o conceito de espaço-tempo;
- Mostrar efeitos puramente relativísticos;
- Estabelecer diferença entre a Relatividade Geral e Restrita;
- Reconhecer conceitos de Relatividade Geral e Restrita através da análise de filmes de Ficção Científica;
- Determinar os limites entre ciência e ficção.

3. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA SOBRE ENSINO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA ATRAVÉS DE FILMES DE FICÇÃO CIENTÍFICA

O intuito é que, através de filmes de Ficção Científica (FC), seja possível despertar o interesse dos alunos por conceitos de física contemporânea e ensinar alguns conceitos de Relatividade Restrita e Relatividade Geral, temas que instigam a curiosidade dos alunos pois envolvem o arcabouço teórico necessário para descrever objetos como buracos negros e situações como viagem temporal.

"Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou as ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia".(PCN+, 2006; p. 15)

Dessa forma será idealizada uma sequência para trabalho com alunos, na qual irá ser visualizado a absorção dos conceitos utilizando-se de mapas conceituais, considerando que é um bom elemento para diagnosticar o ensino aprendizagem do aluno.

Segundo Moreira (2010, p. 17) citado por Pivatto (2013, v. 2, n. 15,),

Os mapas conceituais podem ser usados para mostrar relações significativas entre conceitos ensinados em uma única aula, em uma unidade de estudo ou em um curso inteiro. São representações concisas das estruturas conceituais que estão sendo ensinadas e, como tal, provavelmente facilitam a aprendizagem dessas estruturas. Entretanto, diferentemente de outros materiais didáticos, mapas conceituais não são autoinstrutivos: devem ser explicados pelo professor. Além disso, embora possam ser usados para dar uma visão geral do tema em estudo, é preferível usá-los quando os alunos já têm certa familiaridade com o assunto, de modo que sejam potencialmente significativos e permitam a integração, reconciliação e diferenciação de significados de conceitos (MOREIRA, 2010, p. 17).

Subsequentemente será descrita uma sequência formativa de roteiro para aplicação dos filmes de FC.

No quadro a seguir segue lista de filmes a serem trabalhados durante a aplicação do produto.

Quadro 1: Filmes que serão trabalhados com os alunos

TEMA	FIMES	CORTE/MIN.	CONCEITOS
Relatividade Especial	De volta para o Futuro	3:17	viagem temporal
		1:35	viagem temporal
	Efeito Borboleta	1:53	viagem temporal
	Vingadores Ultimato	1:48	viagem temporal
		2:18	viagem temporal
	Planeta dos Macacos-2001	1:47	Paradoxo dos gêmeos
Dr. Estranho	Máquina do Tempo	3:51	viagem temporal
		3:27	espaço-tempo
	Contato	2:01	espaço-tempo
		1:53	viagem temporal
		1:51	viagem temporal
		1:46	buracos de minhoca/ano luz
Interstellar		2:48	buraco de minhoca
		2:33	gravidade artificial dilatação gravitacional do tempo
		1:14	dilatação gravitacional do tempo

Relatividade Geral		3:13	buracos negros giratórios
	2001-Uma odisséia no espaço	1:10	gravidade artificial
	Thor	121	ponte de Einstein-Rosen
	Star Trek	3:16	dobra espacial
		0:57	buracos negros

Fonte: O autor

Tais tópicos servirão de base para um conjunto de atividades para ser desenvolvido com os alunos do 3º ano do Ensino Médio.

4. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

4.1. ENCONTRO 01 (1 AULAS): PRIMEIRO MOMENTO (45 MIN)

Segundo Vygotsky (1991) o aprendizado só acontece quando existe uma interação entre pessoas do seu ambiente, sendo assim:

“[...] O aprendizado desperta vários processos internos de desenvolvimento, que são capazes de operar somente quando a criança interage com pessoas em seu ambiente e quando em operação com seus companheiros. Uma vez internalizados, esses processos tornam-se parte das aquisições do desenvolvimento independente da criança”. (VYGOTSKY, 1991, p. 77)

Nesse momento o professor irá dividir a sala em 6 grupos, a montagem dos grupos será realizada pelos próprios educandos e, na sequência, serão entregues os recortes dos filmes para os grupos formados. O recorte dos filmes será disponibilizado através do Google Drive, o qual os alunos irão acessar a partir dos seus smartphones. Desta forma os alunos irão se organizar para assisti-los e, em sequência, analisá-los. Nesse momento eles irão fazer a identificação de potenciais relações com a teoria da relatividade: o que é ciência e o que é ficção científica, sendo assim passarão a fazer anotações e comentários sobre a viabilidade dos fenômenos apresentados.

Juntamente com os vídeos, o professor entregará aos alunos alguns textos de apoio sobre os temas a serem trabalhados. Nos referidos textos haverá algumas referências bibliográficas para fundamentar seus conceitos sobre os temas tratados nos recortes dos filmes de FC. Isso será feito no término da aula que resta e na aula subsequente da turma.

Como finalização do momento o professor irá mediar uma discussão com alunos a partir das anotações realizadas, sobre o que é ficção científica e o que é ciência.

4.1.1 Momento 01

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO
Escola: _____
Professor: _____
Componente Curricular: Física
Turma: _____
Duração: 1 aula de 45 min.







PLANO DE AULA
Tema: Recortes de filmes para o estudo de conceitos de Relatividade Geral e Restrita

OBJETIVOS
<p>GERAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais. <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar os limites entre ciência e ficção.

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Organizar os alunos em 6 grupos de 5 integrantes (a montagem dos trios será realizada pelos próprios educandos) e, na sequência, serão entregues os recortes dos filmes para os grupos formados. Recorte dos filmes será disponibilizado através do Google Drive (GRUPO 1, GRUPO 2, GRUPO 3, GRUPO 4, GRUPO 5 e GRUPO 6), o qual os alunos irão acessar a partir dos seus smartphones. Disponibilizar os vouchers de acesso ao wi-fi da rede da escola, desta forma os alunos irão se organizar para assisti-los e, em sequência, analisá-los. Link dos textos de apoio. Identificação de potenciais relações com a teoria da relatividade: o que é ciência e o que é ficção científica, sendo assim passarão a fazer anotações e comentários sobre a viabilidade dos fenômenos apresentados.

- Como finalização do momento o professor irá mediar uma discussão com os alunos a partir das anotações realizadas, sobre o que é ficção científica e o que é ciência.

VÍDEOS		
GRUPO 1 	GRUPO 2 	GRUPO 3 
GRUPO 4 	GRUPO 5 	GRUPO 6 

TEXTO DE APOIO


RECURSOS
<ul style="list-style-type: none"> • Internet; • Google drive; • Livros impresso; • Smartphone;

AVALIAÇÃO
A avaliação se dará dos debates sobre os recortes dos filmes e identificação se os recortes são ficção ou ciência real.

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2006.

Alunos:

Vídeo 01 -

Vídeo 02 -

Vídeo 03 -

Vídeo 04 -

4.2. ENCONTRO 02 (2 AULAS): SEGUNDO MOMENTO (90 MIN)

Nesse momento o professor abrirá para a discussão do grande grupo os temas dos recortes, considerando os temas em comum adquiridos pelos grupos, retomando o final da aula anterior. Em seguida, serão levantados pontos que os alunos julgaram intrigantes nos recortes de filme que foram analisados. Neste momento ocorrerá uma discussão das análises através de uma breve apresentação, na qual cada grupo faz uma explanação aos outros. O professor, nesse momento, passa a ser um mediador das discussões, fazendo inserções que julgar pertinente sem interferir de forma geral no trabalho.

4.2.1 Momento 02

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO
Escola: _____
Professor: _____
Componente Curricular: Física
Turma: _____
Duração: 2 aulas de 45 min.

PLANO DE AULA
Tema: Recortes de filmes para o estudo de conceitos de Relatividade Geral e Restrita

OBJETIVOS
<p>GERAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais. <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconhecer conceitos de Relatividade Geral e Restrita através da análise de filmes de Ficção Científica;

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> 2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Recorte dos filmes será disponibilizado através do Google Drive (GRUPO 1, GRUPO 2, GRUPO 3, GRUPO 4, GRUPO 5 e GRUPO 6), o qual os alunos irão acessar a partir dos seus smartphones. Link dos textos de apoio. Levantamento dos pontos que os alunos julgaram intrigantes nos recortes de filme que foram analisados. Neste momento ocorrerá uma discussão das análises através de uma breve apresentação, na qual cada grupo faz uma explanação aos outros. O professor, nesse momento, passa a ser um mediador das discussões, fazendo inserções que julgar pertinente sem interferir de forma geral no trabalho. (90min)

VÍDEOS		
GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3

		
GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6
		

TEXTO DE APOIO



RECURSOS

- Internet;
- Google drive;
- Livros impresso;
- Smartphone;
- Projetor multimidia;
- Quadro Branco;

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2006.

[Física Moderna 1: Unidade I - 03 Relatividade da Simutaneidade de Eventos
Genius | Explicação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral](#)

[DILATAÇÃO TEMPORAL](#)

[Contração do Comprimento - Teoria da Relatividade](#)

[A SOLUÇÃO do PARADOXO dos Gêmeos](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[A new way to visualize General Relativity](#)

4.3. ENCONTRO 03 (3 AULAS): TERCEIRO MOMENTO (135 MIN)

Nesse momento, após a discussão dos grupos sobre temas em comum dos recortes e definição do escopo de aplicabilidade da Relatividade Restrita e Relatividade Geral, o professor vai então trabalhar uma breve aula expositiva sobre os conceitos essenciais.

O professor pedirá para os alunos sugerirem temas associados aos recortes de filmes assistidos e os relacionará aos tópicos da Relatividade Restrita e Geral: dilatação temporal, contração espacial, paradoxo dos gêmeos, princípio da equivalência, espaço-tempo, buracos negros, etc.

4.3.1 Momento 03

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO
Escola: _____
Professor: _____
Componente Curricular: Física
Turma: _____
Duração: 3 aulas de 45 min.

PLANO DE AULA
Tema: Recortes de filmes para o estudo de conceitos de Relatividade Geral e Restrita

OBJETIVOS
<p>GERAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais. <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discutir os limites de validade da física newtoniana; • Introduzir o conceito de relatividade e invariância da velocidade da luz; • Enunciar o Princípio da Equivalência; • Definir o conceito de espaço-tempo; • Mostrar efeitos puramente relativísticos; • Estabelecer diferença entre a Relatividade Geral e Restrita;

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • 2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. • (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Recorte dos filmes será disponibilizado através do Google Drive (GRUPO 1, GRUPO 2, GRUPO 3, GRUPO 4, GRUPO 5 e GRUPO 6), o qual os alunos irão acessar a partir dos seus smartphones. • Link dos textos de apoio. • Após a discussão do grande grupo sobre temas em comum dos recortes e definição do escopo de aplicabilidade da Relatividade Restrita e Relatividade Geral, o professor vai então trabalhar uma breve aula expositiva via PREZI sobre os conceitos essenciais (90 min.) • O professor pedirá para os alunos elenquem temas associados aos recortes de filmes assistidos e os relacionará aos tópicos da Relatividade Restrita e

Geral: dilatação temporal, contração espacial, paradoxo dos gêmeos, princípio da equivalência, espaço-tempo, buracos negros, etc.(45min)

VÍDEOS

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
		
GRUPO 4	GRUPO 5	GRUPO 6
		

TEXTO DE APOIO



RECURSOS

- Internet;
- Google drive;
- Livros impresso;
- Smartphone;
- Projetor multimidia;
- Quadro Branco;

AValiação

A avaliação se dará dos debates sobre os recortes dos filmes, identificando os conceitos de relatividade.

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2006.

[Física Moderna 1: Unidade I - 03 Relatividade da Simutaneidade de Eventos](#)

[Genius | Explicação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral](#)

[DILATAÇÃO TEMPORAL](#)

[Contração do Comprimento - Teoria da Relatividade](#)

[A SOLUÇÃO do PARADOXO dos Gêmeos](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[A new way to visualize General Relativity](#)

Alunos:

Vídeo 01 -

Vídeo 02 -

Vídeo 03 -

Video 04 -

4.4. ENCONTRO 04 (5 AULAS): QUARTO MOMENTO (240 MIN)

Para finalizar a contextualização sobre os conceitos abordados e percebidos por meio dos filmes de FC, serão propostas 4 atividades referentes a Relatividade Geral e Restrita, as quais serão resolvidas nos grupos com orientação do professor:

i) movimento relativo – os receberão um conjunto de atividades com base em recortes de vídeos, no qual os alunos iram analisar os referenciais nas situações e também iram analisar a questão de velocidade em relação ao observador.

ii) princípio da equivalência - será entregue aos grupos um conjunto de atividades relacionadas ao princípio da equivalência; os alunos calcularão, por exemplo, a velocidade de rotação de uma nave em forma de anel para que a mesma produza uma gravidade artificial de mesma magnitude que a experimentada na Terra.

iii) curvatura do espaço-tempo - uma atividade discutindo o conceito de geodésica será realizada pelos alunos. Será discutido o conceito de raio de Schwarzschild e Buraco Negro.

iv) mecânica relativística - os grupos realizarão um conjunto de atividades referentes à mecânica relativística, calculando o fator de Lorentz para diversas situações de dilatação temporal, contração espacial e massa relativística.

As atividades propostas permitirão que os alunos sejam capazes de resolver problemas simples de relatividade, uma vez que após trabalhados os conceitos, a matemática envolvida é simples.

4.4.1 Momento 04

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO
Escola: _____
Professor: _____
Componente Curricular: Física
Turma: _____
Duração: 5 aulas de 45 min.




PLANO DE AULA
Tema: Recortes de filmes para o estudo de conceitos de Relatividade Geral e Restrita

OBJETIVOS
<p>GERAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais. <p>ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discutir os limites de validade da física newtoniana; • Introduzir o conceito de relatividade e invariância da velocidade da luz; • Enunciar o Princípio da Equivalência; • Definir o conceito de espaço-tempo; • Mostrar efeitos puramente relativísticos; • Estabelecer diferença entre a Relatividade Geral e Restrita;

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • 2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. • (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

METODOLOGIA
<p>Nesse encontro os alunos irão aplicar os conceitos analisados nos recortes e discutidos nos encontros anteriores, através de roteiros de atividades referente a Relatividade Geral e Restrita, as quais serão resolvidas nos grupos com orientação do professor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Movimento relativo e referenciais inerciais • Princípio da Equivalência • Buracos negros/desvio da luz

- [Dilatação temporal.](#)

ROTEIRO DAS ATIVIDADES	
MOVIMENTO RELATIVO E REFERENCIAIS INERCIAIS	PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA
	
BURACOS NEGROS/DESVIO DA LUZ	DILATAÇÃO TEMPORAL
	

RECURSOS

- Internet;
- Google drive;
- Livros impresso;
- Smartphone;
- Projetor multimidia;
- Quadro Branco;

AVALIAÇÃO

A avaliação se dará no decorrer das aulas com as produções e execuções dos roteiros orientados.

REFERÊNCIAS

- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.
- MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.
- MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2006.

[Física Moderna 1: Unidade I - 03 Relatividade da Simutaneidade de Eventos](#)

[Genius | Explicação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral](#)

[DILATAÇÃO TEMPORAL](#)

[Contração do Comprimento - Teoria da Relatividade](#)

[A SOLUÇÃO do PARADOXO dos Gêmeos](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[A new way to visualize General Relativity](#)

7. MOVIMENTO RELATIVO

INTRODUÇÃO

Assista ao vídeo a seguir - ([Top Secret!, 1984](#)) e responda às questões abaixo:

1. Inicialmente, quem parece estar se movendo, o trem ou a plataforma?

R:

2. Posteriormente, quem parece estar se movendo, o trem ou a plataforma?

R:

3. Como podemos saber quem realmente está se movendo?

R:

4. Você, neste momento, está parado em relação ao chão?

R:

5. Você, em relação ao Sol, está parado ou se movendo?

R:

PERSEGUIÇÃO

Assista ao vídeo a seguir ([De Volta Para o Futuro, 1985](#)) e responda às questões abaixo:

1. Aos 4 minutos e 10 segundos, um dos terroristas na van aponta uma bazuca na direção de Marty McFly. Durante este momento e nos 5 segundos seguintes, responda:
 - i. o terrorista está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	()
em relação ao DeLorean	()	()
em relação à van	()	()
 - ii. Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	()
em relação ao DeLorean	()	()
em relação à van	()	()

2. O que você pode dizer sobre a velocidade dos dois veículos?

R:

3. Você diria que os observadores nos dois veículos concordam ou discordam em relação ao que está em movimento e o que está parado?

R:

4. Depois, aos 4 minutos e 15 segundos Marty tenta fugir e, inicialmente, a câmera mostra o ponto de vista (referencial) dos terroristas. Logo em seguida, temos o ponto de vista do DeLorean (como se Marty olhasse para trás), e vemos a van dos terroristas. Com base neste trecho, responda:
 - i. o terrorista está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	()
em relação ao DeLorean	()	()
em relação à van	()	()
 - ii. Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
	()	()

em relação ao chão	()	()
em relação ao DeLorean	()	()
em relação à van	()	()

5. Você diria que os observadores nos dois veículos concordam ou discordam em relação ao que está em movimento e o que está parado?

R:

VELOCIDADE RELATIVA

Assista ao vídeo a seguir ([De Volta Para o Futuro 3, 1990](#)) e responda às questões abaixo:

1. Aos 1 minutos e 10 segundos vemos Marty e Doc em cima do trem. Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:
- | Referencial | Parado | Em movimento |
|-----------------------|--------|--------------|
| em relação ao
trem | () | () |
| em relação ao
chão | () | () |

2. Considere os dois referenciais anteriores, um observador no chão e outro no trem. Eles concordariam com a velocidade de Marty?

R:

3. Se o trem tem uma velocidade de 80 km/h em relação ao chão, e Marty tem uma velocidade de 4 km/h em relação ao trem.
- a) Qual a velocidade de Marty em relação à um observador sentado no trem?

R:

- b) qual a velocidade de Marty medida em relação ao chão?

R:

4. Invariância da velocidade da luz e as transformações de Lorentz
Imagine agora uma situação semelhante à anterior, com um trem em movimento, mas agora muito mais rápido, andando a 10 km/s. Ao invés de alguém correndo,

imagine uma pessoa sentada no trem, com uma lanterna acesa. Sabemos que a velocidade da luz no vácuo é de aproximadamente 300.000 km/s.

Com base no que consideramos anteriormente, qual seria a velocidade da luz que sai da lanterna:

a) em relação ao trem (e à pessoa sentada);

R:

b) em relação ao chão.

R:

5. Diversos experimentos têm mostrado que a velocidade da luz no vácuo possui sempre o mesmo valor (300.000 km/s) independente da velocidade do referencial que a observa, **contanto que a velocidade seja constante**. Isto é, não temos como "acelerar" um feixe de luz. Empurrar uma lanterna para frente não faz com que a luz ande mais rápido. Assim, a nossa resposta para o item b) deveria ser, na verdade, 300.000 km/s.

Vamos definir, por enquanto, os **referenciais inerciais** como aqueles que se movem com velocidade constante em relação a outro referencial. Desta forma, estes referenciais sempre medirão o mesmo valor para a velocidade da luz. Caso contrário, se o referencial acelera em relação ao outro, diremos que eles são **referenciais não-inerciais**

Classifique os referenciais como inerciais ou não-inerciais de acordo com cada questão respondida anteriormente:

Questão	Referencial relativo ao chão	Inercial	Não-inercial
Questão 1	Trem	()	()
	Plataforma	()	()
Questão 2	DeLorean	()	()
	Van	()	()
Questão 3	DeLorean	()	()
	Van	()	()
Questão 4	Trem	()	()
	Chão	()	()

VÍDEOS

Top Secret! 1984	De Volta Para o Futuro, 1985	De Volta Para o Futuro 3, 1990
------------------	------------------------------	--------------------------------



Alunos:

O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA

Sabemos que os objetos caem próximos da superfície da Terra devido à atração gravitacional. Se soltarmos de uma mesma altura um martelo e uma pena, qual chegará primeiro ao chão? Se fizermos este experimento em casa, certamente o martelo chegará primeiro. No entanto, se estamos interessados em analisar os efeitos da gravidade, é necessário eliminarmos quaisquer outros efeitos físicos que possam nos confundir. Quando isso é feito (por exemplo, fazendo nosso experimento no vácuo, para que a resistência do ar não interfira), observamos algo fantástico: a pena e o martelo caem ao mesmo tempo!

Este experimento já foi feito na Lua pelos astronautas da missão [Apollo 15](#), já que o ar na Lua é tão rarefeito que pode ser desprezado. O mesmo experimento já foi feito na Terra também, mas numa grande câmara de vácuo, obtendo o mesmo resultado. Isso nos mostra um resultado extremamente curioso a respeito da gravidade: todos os objetos caem com a mesma aceleração quando estão sujeitos ao mesmo campo gravitacional, independente de qual é a sua massa.

Foi pensando sobre este efeito curioso que Einstein chegou à teoria da Relatividade Geral. Nós iremos seguir a mesma linha de raciocínio desenvolvida por ele nesta atividade.

1) Força peso e força gravitacional

Para entendermos o que ocorre, temos que lembrar como é definida a força gravitacional entre dois corpos. A lei da gravitação universal é escrita como

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (1)$$

onde F é a magnitude da força gravitacional entre dois corpos de massa gravitacional m_1 e m_2 , r é a distância entre os dois corpos e G ($= 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$) é a constante da gravitação universal.

Se considerarmos que um desses corpos é o planeta Terra, com massa $m_1 = M_T$, e o outro corpo é uma pessoa de massa $m_2 = m$, a equação acima pode ser escrita como

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = \frac{GM_T}{r^2} m = m \cdot g, \quad (2)$$

onde definimos a aceleração da gravidade como

$$g = \frac{G \cdot M_T}{r^2}. \quad (3)$$

Valor da aceleração da gravidade: Se estamos na superfície da Terra, a distância entre a pessoa e o centro da Terra é o próprio raio terrestre, ($R_T = 6.378 \text{ km}$) e, considerando a massa da Terra como $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, qual o valor de g na superfície da Terra?

R:

Calcule a aceleração da gravidade na superfície dos seguintes corpos celestes, considerando sua massa e raio:

Planeta	Massa (10^{24} kg)	Raio (km)	g (m/s^2)
Marte	0,642	3.396	
Júpiter	1.898	71.492	
Lua	0,073	1.737	

MARTE

R:

JÚPITER

R:

LUA

R:

Nesta situação, definimos a *força peso* de um corpo como sendo o produto da sua massa gravitacional pela aceleração da gravidade na superfície do planeta,

$$P = m \cdot g. \quad (4)$$

Vemos, portanto, que o que chamamos de peso é uma relação *gravitacional* entre as massas do planeta e do corpo em questão.

Quando pesamos algum corpo em uma balança, geralmente cometemos um abuso de linguagem e dizemos que esse corpo ‘pesa tantos quilos’. É importante notar que as *massas* possuem unidades de quilogramas, e o *peso*, sendo uma força, é medido em *newtons*. Assim, o que acontece quando subimos em uma balança? Quando estamos em uma balança, o que acontece é um equilíbrio de forças. Vamos lembrar o que as leis de Newton nos diz:

- *Segunda lei de Newton* -- A soma das forças sobre um corpo é igual a sua *massa inercial* vezes a sua *aceleração*: $F = m_I \cdot a$.
- *Terceira lei de Newton* – Quando um corpo A exerce uma força sobre o corpo B, o corpo B exerce uma força de *reação* sobre o corpo A, de magnitude igual e sentido contrário à força aplicada por A.

Assim, quando subimos sobre uma balança, estamos exercendo uma força sobre a mesma, a força peso! O planeta Terra está nos puxando para baixo, mas a balança

no meio do caminho não deixa que sejamos puxados para o centro do planeta. Conseqüentemente, a balança exerce sobre nós uma força de mesma magnitude, mas sentido contrário à nossa força peso.

Então, para um corpo em repouso sobre uma balança, existem duas forças agindo sobre o mesmo: a *força peso* (P) devido à atração gravitacional da Terra, e a *força normal* (N), aplicada pela balança sobre o corpo.

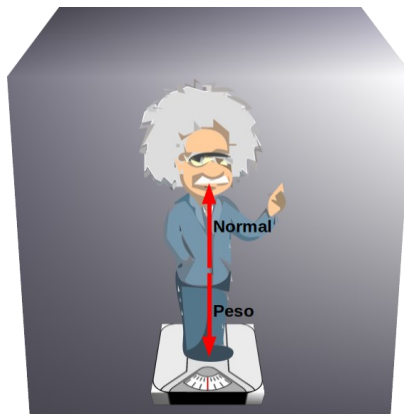


Figura 1: Uma pessoa em cima de uma balança. Sobre ela atuam duas forças, a força peso devido à gravidade e a força normal, devido a reação da força peso do corpo apoiado na balança. (Fonte: o Autor).

De acordo com a segunda lei de Newton, a soma dessas duas forças (neste caso, a subtração, uma vez que as forças apontam em sentidos opostos) deve ser igual à aceleração do corpo. Se o corpo está em repouso, a aceleração é igual a zero:

$$P - N = m \cdot a = 0 \Rightarrow N = P = m_G \cdot g \quad (5)$$

Dessa forma, a medida do peso de um corpo **neste caso** é, na verdade, uma medida da força normal:

A força normal só existe pois a pessoa está pressionando a balança contra o chão! A força normal é uma força de reação, de acordo com a terceira lei de Newton.

Note que a massa que aparece no resultado final é a massa gravitacional (m_G), aquela que vem da lei da gravitação, e não a massa inercial, aquela que vem da segunda lei de Newton. Elas são conceitualmente diferentes, mas até hoje todos os experimentos nos mostram que elas possuem o mesmo valor para cada corpo.

Gravidade na estação espacial

Agora que sabemos calcular a aceleração da gravidade e o peso de uma pessoa, vamos calcular qual seria o peso de um astronauta a bordo da Estação Espacial Internacional, a 400 km de altura.

Utilize a equação (3) para calcular a aceleração da gravidade devido à Terra para uma pessoa a uma distância de 400 km da superfície da Terra, como mostra a figura abaixo:

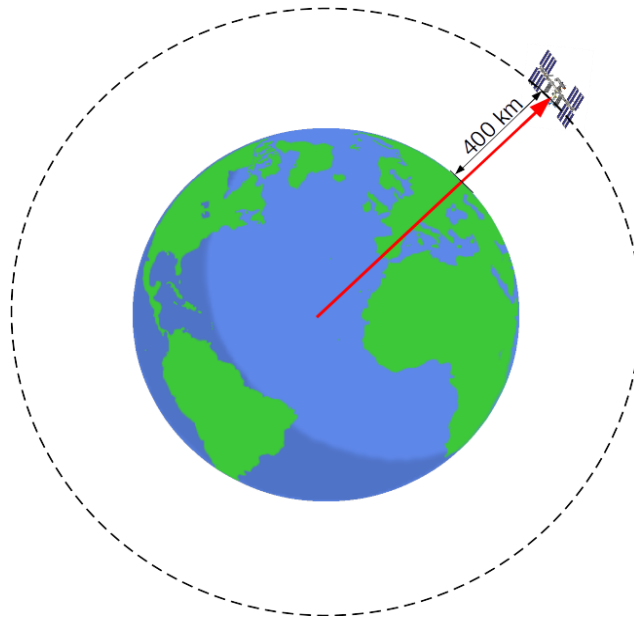


Figura 2: Órbita da Estação Espacial Internacional em torno da Terra. A figura está fora de escala.
(fonte: o Autor).

R:

Se a gravidade na Estação Espacial Internacional é diferente de zero, porque os astronautas parecem flutuar? Vamos ver o que Einstein tem a dizer sobre isso.

2) O pensamento mais feliz da minha vida

Einstein definiu o pensamento mais feliz de sua vida ao notar que um corpo em queda livre, na verdade, não sente nenhuma força gravitacional sobre si! De fato, se um observador em queda livre deixa cair algum objeto, este objeto permanece em repouso em relação ao observador, independente da natureza deste corpo. Vamos analisar o que Einstein quis dizer com isso.

Vamos imaginar que um cientista esteja em um elevador, em um prédio bem alto, digamos, com 50 andares. Neste elevador existe uma balança, igual aquelas de farmácia. Se o elevador está parado e nossa cientista sobe sobre a balança, esta marcará o peso da forma que vimos anteriormente.

Agora se, de repente, o cabo do elevador se soltar, o mesmo cairá em queda livre pelo poço. Vamos desprezar qualquer efeito da resistência do ar, como fizemos no início. Com base no experimento descrito no início, com o martelo e a pena, o elevador, a balança e o cientista cairão ao mesmo tempo ou algum deles cairá mais rápido ou devagar que o outro?

R:

Se todos caem com a mesma aceleração e velocidade, note que o cientista não conseguirá pisar sobre a balança, ou mesmo pressioná-la contra o chão do elevador! Se isso acontece, qual será o valor da força normal? Quanto a balança marcará?

R:

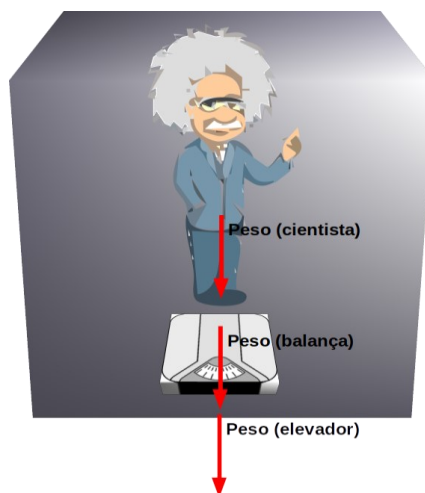


Figura 3: Num elevador em queda livre, não será possível pisar sobre a balança para comprimi-la sobre o chão.

Nesta situação, se o elevador está completamente fechado, o cientista terá a impressão de que está flutuando! Tanto ele quanto qualquer objeto que esteja dentro do elevador (incluindo a balança) cairão com a mesma velocidade e aceleração e, no referencial do cientista, todos esses objetos parecerão em repouso em relação ao mesmo: todos estarão flutuando como se não houvesse gravidade, enquanto durar a queda.

Assim, para um corpo em queda livre, por mais estranho que pareça, é como se não houvesse nenhuma força agindo sobre ele. E se não há força agindo sobre o corpo, é como se ele estivesse em repouso, ou seja, num referencial inercial, como vimos na última atividade.

Agora podemos entender por que os astronautas parecem flutuar, mesmo que a aceleração da gravidade na Estação Espacial Internacional seja diferente de zero: todos estão em queda livre, a nave e todos que estão nela. Quando um corpo está em órbita da Terra, ele está, na verdade, numa eterna queda livre. A diferença em relação ao elevador, é que os corpos em órbita possuem uma *velocidade tangencial* que faz com que eles *errem* a Terra, ao cair, dando voltas sobre a mesma. O próprio Newton já sabia disso, mas Einstein deu um passo além, conforme veremos a seguir.

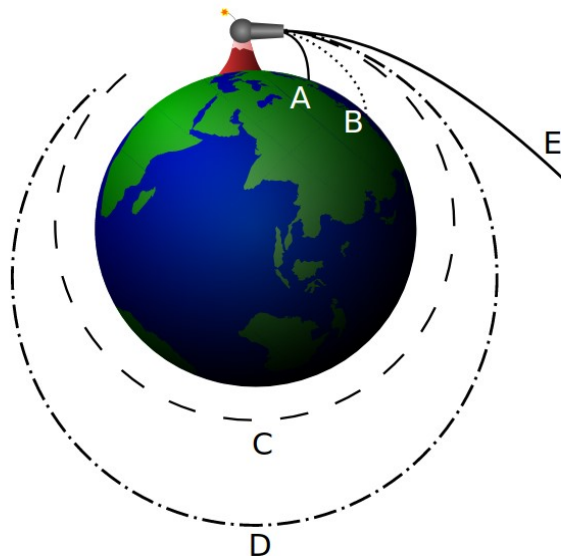


Figura 4: O 'canhão de Newton'. Uma bola de canhão é lançada com diferentes velocidades. Com uma velocidade baixa a bola deixa o canhão e cai no ponto A. Com uma velocidade maior, cai em B.

Com uma velocidade maior ainda, entra em órbita como mostram os pontos C e D. Para uma velocidade suficientemente grande (chamada velocidade de escape), a bola sai da órbita da Terra e não retorna (trajetória E). Os astronautas em órbita estão em queda como a trajetória descrita por D.

(Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newton_Cannon.svg)

3) O princípio da equivalência

O passo final para entendermos a construção da teoria da Relatividade Geral é considerarmos a *relatividade entre diferentes referenciais*. Como o nosso cientista, em um elevador em queda livre, pode descobrir se está em queda ou se está num lugar onde não há nenhuma força gravitacional? As duas situações parecem ser equivalentes: em ambas ele estaria 'flutuando'. Einstein afirmou que uma vez que não temos como diferenciar estas duas situações, elas são equivalentes.

Ainda, podemos pensar em outra situação equivalente. Vamos considerar dois casos: um elevador parado na superfície da Terra (não em queda livre) e um outro elevador longe de qualquer força gravitacional (como vagando pelo espaço sideral), mas acelerado por um foguete com uma aceleração exatamente igual à aceleração da gravidade na Terra ($a=g$).

No caso do elevador parado na Terra, o cientista pode subir na balança e conseguirá comprimir a balança, sendo que ela marcará seu peso corretamente, pois a força normal será aquela dada pela equação (5):

$$N = m_G \cdot g.$$

No caso do elevador longe de qualquer força gravitacional, o cientista ainda conseguirá subir sobre a balança e verificar qual o seu peso, uma vez que o elevador, ao ser acelerado, empurrará todos para cima. De acordo com a segunda lei de Newton, a força sentida pelo cientista será

$$N = m_I g.$$

Desta forma, o cientista será incapaz de descobrir se está na presença de um campo gravitacional ou se está em um elevador acelerado com uma aceleração igual a da gravidade. Com isso, não sabemos também diferenciar a massa inercial da massa gravitacional, e temos $m_G = m_I$. Esse é o chamado **princípio da equivalência**:

Não é possível realizar nenhum experimento que possa diferenciar a massa gravitacional da massa inercial, nem diferenciar se estamos sujeitos à uma força gravitacional ou se estamos sendo acelerados na direção contrária.

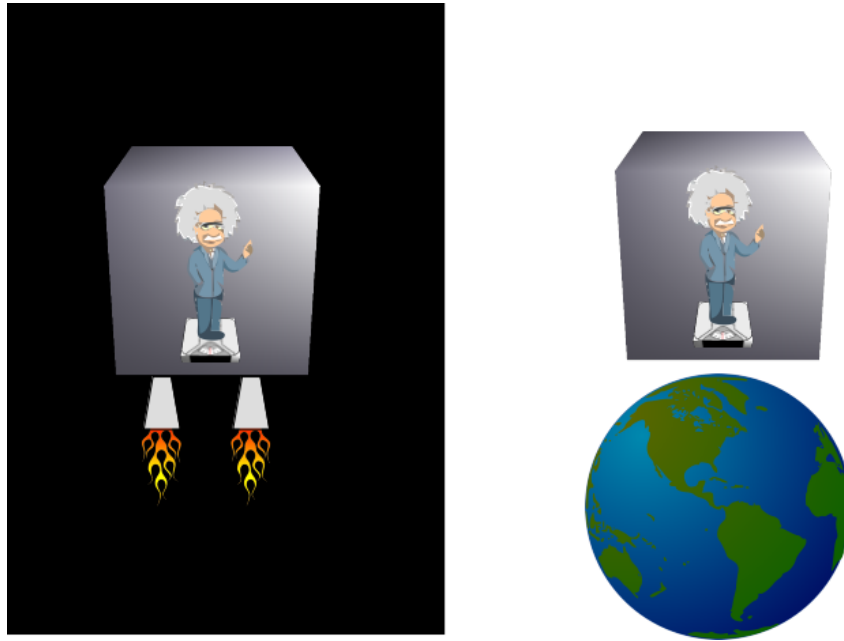


Figura 5: O princípio da equivalência nos diz que a massa gravitacional e a massa inercial são equivalentes, de modo que não podemos distinguir se estamos sendo acelerados numa direção ou se estamos na presença de uma força gravitacional na direção contrária. (Fonte: o Autor).

Gravidade artificial

Conforme acabamos de ver, de acordo com Einstein a gravidade é indistinguível de uma aceleração na direção oposta. Podemos fazer uso deste fato para criar uma gravidade artificial para uma nave no espaço. Veja o seguinte trecho do filme *2001: Uma odisseia no espaço*: <https://www.youtube.com/watch?v=1wJQ5UrAslY>

Vamos supor que a nave possua um raio de 65 m de comprimento. Na ausência da gravidade, o astronauta iria flutuar e não conseguiria comprimir o chão para sentir o próprio peso. Contudo, sabemos que um corpo que descreve uma trajetória circular (como uma pedra girando presa a um barbante) experimenta uma *força centrípeta*: isto é, existe uma força puxando a pedra na direção do centro de rotação, e essa força é produzida pela tensão no barbante. De modo equivalente, podemos criar uma nave que rotacione com uma velocidade tal que a força normal que o chão exerce sobre o astronauta seja equivalente ao peso que esse astronauta sentiria na Terra. Ainda mais, esta força normal apontaria sempre para o centro de rotação, ou seja, seria uma força centrípeta.

Lembrando que a força centrípeta é dada por $F = m\omega^2 R$, onde ω é velocidade angular da nave, e lembrando que a segunda lei de Newton nos diz que a força sentida por um corpo é $F = ma$, descubra qual a velocidade angular necessária para que o astronauta sinta uma aceleração igual a aceleração da gravidade na Terra ($a=9,8 \text{ m/s}^2$).

R:

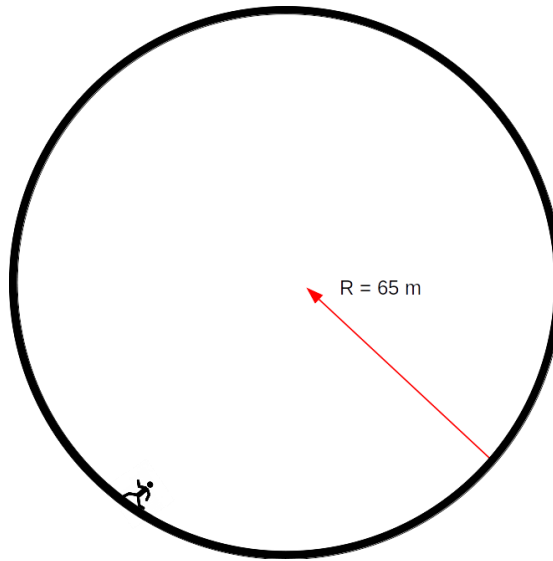


Figura 6: Gravidade artificial gerada pela força centrípeta de uma nave em rotação. (fonte: o Autor).

<u>Apollo 15</u>	Os astronautas em órbita estão em queda	Uma odisseia no espaço
		

Alunos:

Desvio da luz

Assista ao seguinte trecho do filme 'Interstellar':
<https://drive.google.com/drive/folders/1s28epqWmnh0jD7MAPeGor8cO06S1VW>
[aD](#)

O que você observa nesse vídeo?

R:

Vimos na última atividade que o chamado *Princípio da Equivalência* nos diz o seguinte:

Não é possível realizar nenhum experimento que possa diferenciar a massa gravitacional da massa inercial, nem diferenciar se estamos sujeitos à uma força gravitacional ou se estamos sendo acelerados na direção contrária.

Isso quer dizer que tudo que observarmos como se estivéssemos em um foguete acelerado (na ausência de gravidade) também deve acontecer se estivermos parados em uma região sujeita a forças gravitacionais.

Pensando nisso, Einstein colocou o seguinte problema: o que aconteceria com um raio de luz que cruzasse, de uma extremidade à outra, uma nave acelerada (conforme mostra a figura)?

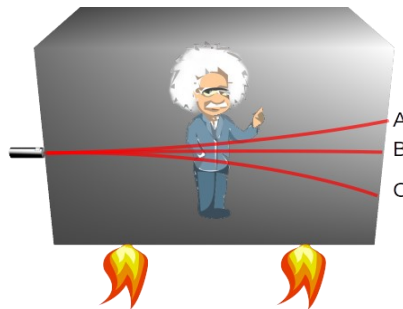


Figura 1: Qual será a trajetória de um feixe de luz atravessando um foguete acelerado, longe de um campo gravitacional?

1. Discuta a situação acima com seus colegas e escolha qual a alternativa que melhor descreve, na opinião de vocês, a trajetória percorrida por um feixe de laser ao cruzar a nave, do ponto de vista (no referencial) de quem está dentro da nave.

R:

Podemos fazer uso do *Princípio da Equivalência* para entendermos melhor o que está acontecendo. Vamos imaginar, portanto, que ao invés de um feixe laser, tenhamos uma bola de tênis sendo arremessada de uma ponta à outra da nave.

Pelo princípio da equivalência, realizar este experimento num foguete com aceleração g longe de um campo gravitacional (Figura 2b) é equivalente a realizar este experimento na superfície de um planeta com aceleração da gravidade g (Figura 2a). Então, sabemos como a bolinha irá se comportar:

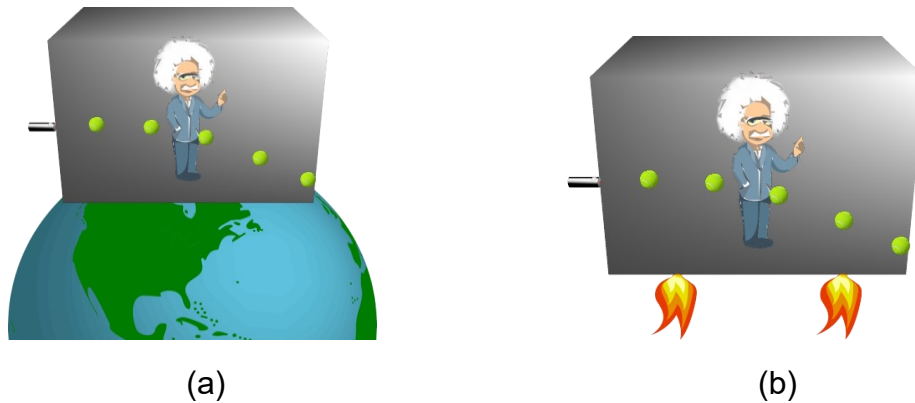


Figura 2: (a) Uma bola de tênis num lançamento oblíquo, na presença de um campo gravitacional. (b) Um lançamento oblíquo de uma bola de tênis realizado numa nave com aceleração g , na ausência de campos gravitacionais.

Este é um experimento que você mesmo pode fazer lançando uma bolinha a partir de uma mesa. Agora, de acordo com o princípio da equivalência, se o experimento for feito numa nave longe de um campo gravitacional, mas com aceleração g no sentido contrário, temos que encontrar o mesmo resultado.

Este é o ponto fundamental: **de acordo com o Princípio da Equivalência o resultado precisa ser o mesmo**, senão nós seríamos capazes de descobrir se estamos na nave acelerada ou na superfície do planeta. Isso quer dizer que na nave teríamos algo como na Figura 2b.

Agora podemos fazer o exercício contrário para o feixe de luz! Enquanto o feixe de luz atravessa a nave, ela continua subindo de modo acelerado:

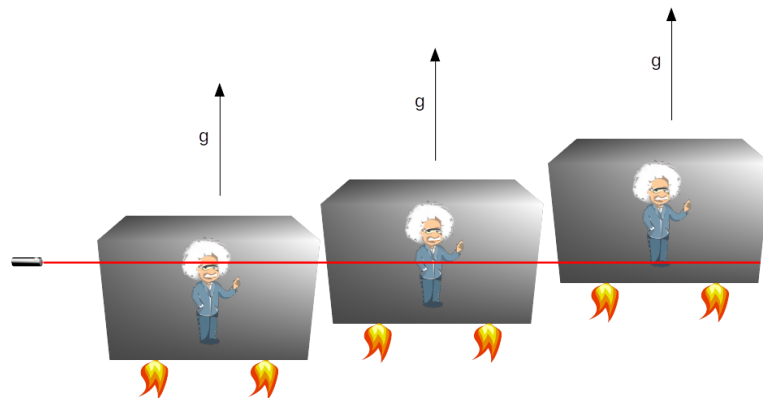


Figura 3: Um feixe de luz atravessa uma nave acelerada longe de um campo gravitacional, visto por um referencial externo à nave.

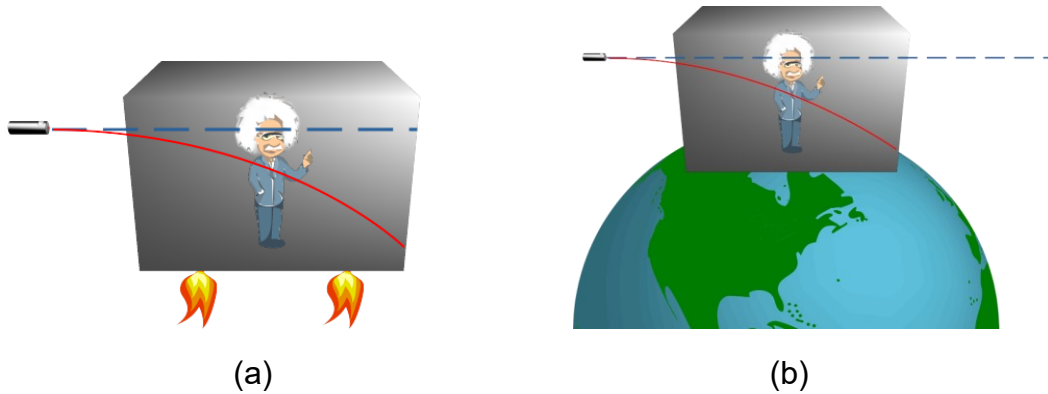


Figura 4: (a) Um feixe de luz atravessa uma nave acelerada, longe de um campo gravitacional, visto por um referencial na nave. (b) Um feixe de luz é defletido ao atravessar uma região de campo gravitacional.

Vemos, portanto, que para um observador na nave a *luz se curva* ao atravessá-la. Podemos agora imaginar que se este efeito é observado em uma nave acelerada, o mesmo deve acontecer na presença de um campo gravitacional, ou seja:

Na presença de um campo gravitacional, a luz tem a sua trajetória desviada.

Por que não vemos isso no dia a dia? O campo gravitacional terrestre é muito pequeno para que possamos ver uma curvatura na trajetória da luz aqui na superfície do planeta. No entanto, este efeito pode ser visto quando um feixe de luz passa próximo ao Sol, e foi justamente isso que os cientistas verificaram em 1919, [aqui no Brasil](#).

Então, o que vemos no vídeo é a luz se curvando de modo tão drástico no entorno do Buraco Negro, que ela parece formar um anel!

Buracos Negros

Agora temos condições de discutir o que são *Buracos Negros*. São objetos que possuem muita massa concentrada numa região bem pequena, o que faz com que o seu campo gravitacional seja muito intenso. Na verdade, o campo gravitacional é tão intenso que nem a luz consegue escapar do mesmo, tornando-o escuro (daí o nome).

Mas não é como se o buraco negro sugasse tudo ao seu redor. Um buraco negro, assim como uma estrela, pode ser orbitado por outros corpos a uma certa distância, assim como a Terra orbita o Sol. Contudo, existe uma distância mínima que precisamos manter do buraco negro, pois se ultrapassarmos esta distância, ficaremos presos (assim como a luz). Essa distância mínima é chamada de *Raio de Schwarzschild*, conforme indicado na Figura 5.

2. Conforme havíamos dito, num buraco negro nem mesmo a luz consegue escapar do *raio de Schwarzschild*. Podemos determinar qual o valor deste raio se considerarmos o buraco negro como um corpo de massa M e supormos que a velocidade de escape é igual a velocidade da luz. Isto é, se nem a luz consegue escapar, nada conseguirá.

Utilize a equação para a velocidade de escape, fazendo $v_{escapa} = c$ e mostre que

$$R_S = \frac{2GM}{c^2},$$

onde M é a massa do corpo em questão. Qual seria o valor do raio de Schwarzschild para o Sol? Considere a massa do Sol como $M_\odot = 1,99 \times 10^{30}$ kg.

R:

Se o raio do Sol é $R_\odot = 6,95 \times 10^8$ metros, o raio de Schwarzschild fica dentro ou fora do Sol?

R:

Podemos definir um buraco negro como um astro cuja massa esteja toda contida *dentro* do seu raio de Schwarzschild. Isso quer dizer que se toda a massa do Sol estivesse contida dentro deste raio, ele seria um buraco negro.

3. De acordo com o filme *Interstellar*, o buraco negro *Gargantua*¹ possui uma massa igual a 100 milhões de vezes maior do que o Sol, ou seja, $10^8 M_{\odot}$.

R:

Calcule qual o Raio de Schwarzschild deste buraco negro.

R:

O buraco negro em M87

Em 10 de abril de 2019 uma equipe de astrônomos anunciou a primeira imagem direta de um buraco negro, na constelação de Virgem.

Com base nas imagens, os astrônomos conseguiram calcular o chamado *horizonte de eventos*, a região delimitada pelo raio de Schwarzschild, como sendo 40 bilhões de quilômetros, $R_S = 4,0 \times 10^{13}$ metros.

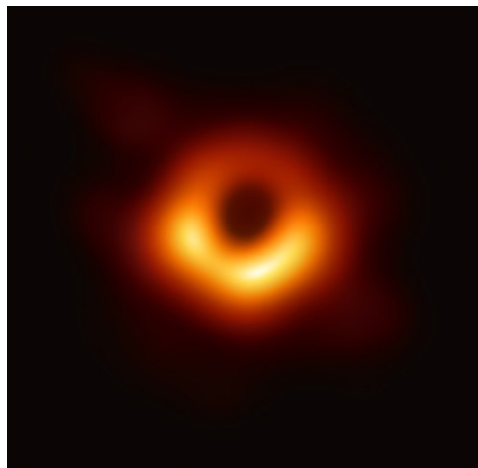


Figura 6: Primeira foto de um Buraco Negro, M87.
<https://www.eso.org/public/images/eso1907a/>

¹ É importante notar que no filme o buraco negro *Gargantua* é um buraco negro que possui uma rotação extremamente alta e isso não está sendo levado em conta aqui. Aqui estamos considerando que ele seja um buraco negro estático, assim como em qualquer outra parte desta atividade.

1. Para ter uma noção de tamanho, pesquise qual a distância do Sol até Plutão, em metros. O Sistema Solar caberia dentro do horizonte de eventos deste buraco negro?


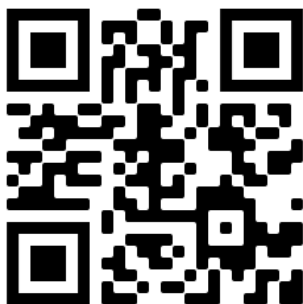
R:

2. De posse do valor do raio de Schwarzschild, qual a massa desse buraco negro em kg?

R:

3. Quantas vezes este buraco negro é mais massivo que o Sol?

R:

VÍDEOS	
INTERSTELLAR	AQUI NO BRASIL
	

Dilatação temporal

Assista ao seguinte trecho do filme *Interstellar*:
https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1sxZEYzAjC6cbIFcEO4H-9paM69_uQBK

Nas duas primeiras atividades vimos duas situações diferentes que exploram o mesmo conceito, o de referencial inercial. Enquanto na teoria de Newton o referencial inercial é definido como aquele que se move com velocidade constante em relação a um referencial absoluto (tomado como as estrelas distantes), na teoria de Einstein não existirá um referencial absoluto. A teoria da relatividade é justamente sobre isso: *não existe um referencial absoluto*.

As grandezas físicas apresentarão valores diferentes dependendo do referencial no qual são calculadas e serão vistas de forma diferente para outro observador se movendo *relativamente* ao primeiro. A exceção é a velocidade da luz no vácuo: *todos os observadores medirão o mesmo valor para a velocidade da luz no vácuo, independentemente de sua própria velocidade*.

Desta forma, alguns efeitos interessantes acontecem quando a velocidade relativa entre dois referenciais (observadores) é próxima da velocidade da luz. Em especial, as medidas de tempo que cada observador faz será diferente.

A relatividade geral

Havíamos definido o referencial inercial como aquele que se move com velocidade constante em relação a outro observador. No entanto, sabemos que na presença de um campo gravitacional, estamos sendo constantemente acelerados! A aceleração da gravidade próxima à superfície da Terra, por exemplo, faz com que a velocidade dos corpos em queda aumente em 9,8 m/s a cada segundo.

Vimos na última atividade que de acordo com o princípio da equivalência não é possível determinarmos se estamos na presença de um campo gravitacional ou se estamos sendo constantemente acelerados na direção contrária.

Por outro lado, quando estamos em queda livre, não sentimos nosso peso, é como se estivéssemos flutuando e nenhuma força atuasse sobre nós. Então, na relatividade geral, o referencial inercial é definido como aquele em queda livre.

Aqui podemos ver a diferença fundamental entre a teoria da relatividade restrita e a teoria da relatividade geral: a relatividade restrita está 'restrita' a observadores se movendo com velocidade constante entre si, enquanto a relatividade geral 'generaliza' esta condição, lidando com referenciais acelerados (em queda livre). Com isso, a

relatividade geral se torna uma teoria da gravitação, já que os campos gravitacionais causam acelerações.

Então, a relatividade geral trará efeitos que dependem basicamente da gravidade. Um deles diz respeito à dilatação temporal também. Além do efeito de dilatação devido à velocidade relativa dos observadores, a passagem do tempo também será diferente para observadores sujeitos a campos gravitacionais diferentes.

Dilatação temporal para gravidade constante

A teoria da relatividade geral nos diz que o tempo passa mais devagar para quem estiver sujeito a um campo gravitacional maior. Vamos lembrar da nossa segunda atividade: vimos que a aceleração da gravidade para um astronauta em órbita da Terra é menor que a aceleração da gravidade na superfície. Com isso, a teoria nos diz que o tempo passa mais rápido para quem está em órbita da estação espacial do que para quem está na Terra! Este efeito pode ser medido também com uma diferença de alguns metros de altura entre os relógios. Vamos ver um exemplo:

1. Imagine que você vá visitar uma amiga na praia (ou seja, ao nível do mar) e vocês sincronizem os seus relógios de modo que eles estejam marcando exatamente o mesmo horário. No fim da visita, você segue para a serra (a uma altitude de 800 metros) com o seu relógio, enquanto sua amiga fica na praia.

Neste caso, onde a aceleração da gravidade varia pouco, a seguinte expressão é válida

$$\Delta t_{cima} = \Delta t_{baixo} \left(1 + \frac{gh}{c^2} \right),$$

onde Δt_{cima} corresponde ao intervalo de tempo no ponto mais alto (na serra), Δt_{baixo} corresponde ao tempo na praia, g é a aceleração da gravidade (assumindo $9,81 \text{ m/s}^2$), c é a velocidade da luz e h é a diferença de altura entre os relógios.

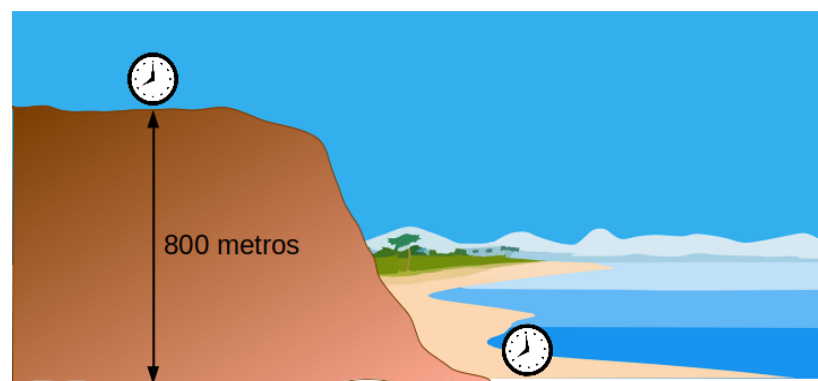


Figura 1: Relógios em alturas diferentes medirão intervalos de tempo diferentes.

Para cada segundo no relógio da praia, quantos segundos se passam no relógio da serra?

R:

2. Qual será a diferença de tempo entre os relógios após 1 ano, quando você voltar para reencontrar sua amiga?

R:

O satélite de GPS

1. Como dissemos, os efeitos da relatividade geral estão relacionados com a gravidade. Por isso, será importante calcularmos qual é o *potencial gravitacional* do satélite de GPS em órbita e de um receptor do sinal de GPS² na Terra.

O potencial gravitacional pode ser visto como uma medida do quanto de energia por quilograma um corpo precisa ter para escapar da atração gravitacional de um planeta. Então, quanto mais próximo estamos da superfície do planeta, mais energia temos que gastar (lembre-se da atividade anterior, na qual calculamos a aceleração da gravidade na superfície do planeta e na estação espacial internacional).

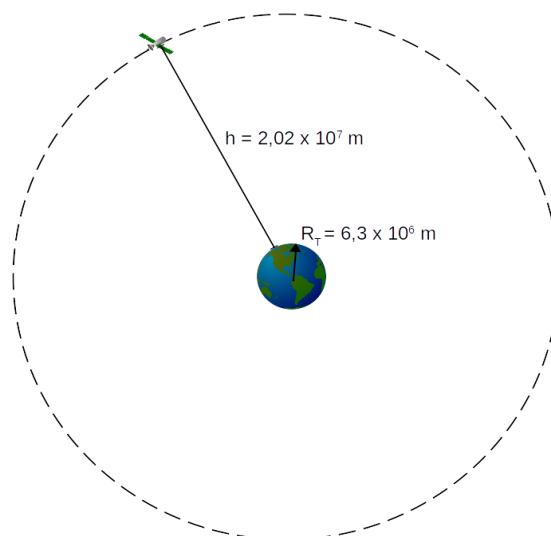


Figura 2: Dilatação temporal gravitacional para o satélite de GPS.

² GPS, do inglês *Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global.

Se o potencial gravitacional é dado por $\phi = \frac{GM_T}{R}$, onde R é a distância **do corpo até o centro da Terra**, calcule a diferença de potencial gravitacional entre o receptor de sinal (na superfície da Terra) e o satélite em órbita: $\Delta\phi = \phi_{receptor} - \phi_{satélite}$. (Suponha que o satélite esteja a uma altura $h = 2,02 \times 10^7$ metros **da superfície da Terra**, e o raio da Terra seja $R_T = 6,3 \times 10^6$ m).

R:

2. De acordo com a Relatividade Geral, o tempo passa mais rápido para os observadores em campos gravitacionais menos intensos. Isso significa que o tempo passa mais devagar para os relógios dos receptores de sinal na Terra do que para os relógios a bordo do satélite em órbita. A equação que nos dá o atraso relativo dos dois relógios³ é:

$$\frac{\Delta t_{satélite}}{\Delta t_{receptor}} = 1 + \frac{\Delta\phi}{c^2}$$

Para cada segundo medido pelo relógio do receptor ($\Delta t_{receptor} = 1$ segundo), quantos segundos são medidos pelo relógio do satélite?

R:

3. Além do efeito gravitacional, a *teoria da relatividade especial* também nos diz que por viajar a uma velocidade relativamente alta em relação à Terra, o relógio no satélite se atrasa por $8,3 \times 10^{-11}$ segundos. No total, o relógio do satélite se

³ Esta é uma equação aproximada, para o caso no qual o campo gravitacional não é muito intenso. Na seção seguinte veremos o caso para um buraco negro.

adianta, portanto, cerca de $4,53 \times 10^{-10}$ segundos para cada segundo que se passa no receptor na Terra.

Ao longo de 1 dia todo (86.400 segundos), quantos segundos o relógio do satélite ficará adiantado?

R:

Note que se a velocidade da luz é de $3,0 \times 10^8$ m/s, no intervalo calculado acima ela percorrerá uma distância igual a 11,6 km!

Isso significa que se a comunicação entre o satélite e o relógio em Terra não levar em conta os efeitos da Relatividade Geral, teremos um erro de 11,6 km na localização por GPS ao longo de 1 dia. Atualmente, os GPS utilizados pelos telefones possuem uma precisão de 1 a 10 metros pois levam em conta as correções relativísticas.

Interstellar

Vimos na atividade anterior que o buraco negro possui um horizonte de eventos dado pelo *raio de Schwarzschild*. A nossa equação para a dilatação temporal pode ser escrita em termos do raio de Schwarzschild, R_s , da seguinte forma⁴:

$$\Delta t_{perto} = \Delta t_{longe} \sqrt{1 - \frac{R_s}{R}}$$

Nesta equação, Δt_{perto} é o intervalo de tempo medido por quem está a uma distância R do centro do buraco negro (note que R deve ser maior do que o raio de Schwarzschild, senão o argumento da raiz quadrada será negativo!), e Δt_{longe} é o intervalo de tempo medido por alguém muito longe (uma distância muito maior que R_s).

No trecho do filme exibido no início, os astronautas estão prestes a visitar um planeta que está nas proximidades de um Buraco Negro! Num dado momento, um deles diz que “1 hora neste planeta equivale a 7 anos na Terra”.

⁴ Novamente, vale notar que essa é uma simplificação para o caso de um buraco negro parado. Os buracos negros, assim como nosso planeta e as estrelas, na verdade possuem uma rotação, o que modifica essas equações. O buraco negro do filme *Interstellar* é um buraco negro com rotação.

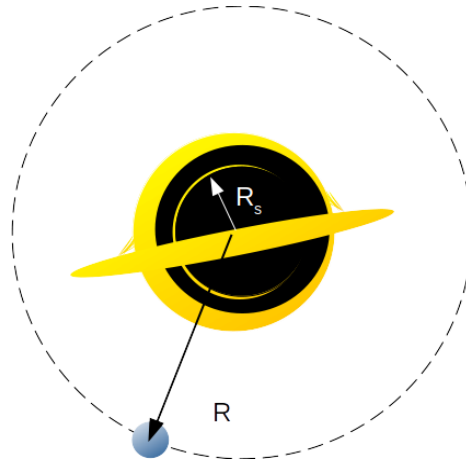


Figura 2: Representação do buraco negro *Gargantua* e o planeta de Miller. O desenho não está em escala.

1. Com isso, podemos dizer que o potencial gravitacional é maior na superfície da Terra ou na superfície do planeta que os astronautas estão visitando? Explique sua resposta.

R:

2. Se $\Delta t_{\text{perto}} = 1$ hora e $\Delta t_{\text{longe}} = 7$ anos, utilize o valor encontrado para R_s na atividade anterior e calcule qual a distância R que o planeta está do centro do buraco negro.

R:

VÍDEO
INTERSTELLAR


Alunos:

4.5. ENCONTRO 05 (1 AULA): QUINTO MOMENTO (45 MIN)

Nesse momento o professor vai entregar um material instrutivo para orientar os alunos de como construir mapas conceituais. Em seguida, o professor irá construir um mapa conceitual juntamente com a turma, sobre algum dos temas já trabalhado anteriormente (eletrostática), por exemplo.

Após esse momento os alunos voltarão aos grupos e discutirão os temas e organizarão então um mapa conceitual por grupo sobre os assuntos abordados nos vídeos e nas aulas.

4.5.1 Momento 05 – mapas conceituais dos grupos

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Escola: _____
 Professor: _____
 Componente Curricular: Física
 Turma: _____
 Duração: 1 aula de 45 min.

PLANO DE AULA

Tema: Recortes de filmes para o estudo de conceitos de Relatividade Geral e Restrita

OBJETIVOS

GERAL:

- Introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral utilizando como subsídio recortes de filmes de ficção científica e a produção de mapas conceituais.

ESPECÍFICOS:

- Introduzir o conceito de relatividade e invariância da velocidade da luz;
- Enunciar o Princípio da Equivalência;
- Definir o conceito de espaço-tempo;
- Mostrar efeitos puramente relativísticos;
- Estabelecer diferença entre a Relatividade Geral e Restrita;

METODOLOGIA

Nesse encontro os alunos irão construir um mapa conceitual utilizando-se de orientações de como [construir mapas conceituais](#) como material de apoio entregue pelo professor, esse mapa será referente aos temas estudados Relatividade Geral e Restrita, a construção será feita nos grupos.

COMO CONSTRUIR MAPAS CONCEITUAIS



RECURSOS

- Internet;
- Google drive;
- Livros impresso;
- Smartphone;
- Projetor multimidia;
- Quadro Branco;

AVALIAÇÃO

A avaliação se dará por análise do mapa conceitual produzido ao término.

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Diagramas V**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2006.

[Física Moderna 1: Unidade I - 03 Relatividade da Simutaneidade de Eventos
Genius | Explicação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral](#)

[DILATAÇÃO TEMPORAL](#)

[Contração do Comprimento - Teoria da Relatividade](#)

[A SOLUÇÃO do PARADOXO dos Gêmeos](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[A new way to visualize General Relativity](#)

Alunos:

RESPOSTAS DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

MOMENTO 02

TEMA	FIMES	GRUPO	CORTE/MIN.	CONCEITOS
Relatividade Especial	De volta para o Futuro	01	3:17	viagem temporal
		03	1:35	viagem temporal
	Efeito Borboleta	04	1:53	viagem temporal
	Vingadores Ultimato	01	1:48	viagem temporal
		02	2:18	viagem temporal
	Planeta dos Macacos-2001	02	1:47	Paradoxo dos gêmeos
	Dr. Estranho	05	3:51	viagem temporal
	Máquina do Tempo	04	3:27	espaço-tempo
		05	2:01	espaço-tempo
	Contato	02	1:53	viagem temporal
		03	1:51	viagem temporal
		06	1:46	buracos de minhoca/ano luz
	Interstellar	01	2:48	buraco de minhoca
		02	2:33	gravidade artificial

		03	1:14	dilatação gravitacional do tempo
		06	3:13	buracos negros giratórios
	2001-Uma odisséia no espaço	01	1:10	gravidade artificial
	Thor	06	121	ponte de Einstein-Rosen
	Star Trek	04	3:16	dobra espacial
		05	0:57	buracos negros

MOMENTO 04

MOVIMENTO RELATIVO

1. Inicialmente, quem parece estar se movendo, o trem ou a plataforma?

R: O trem

2. Posteriormente, quem parece estar se movendo, o trem ou a plataforma?

R: A plataforma

3. Como podemos saber quem realmente está se movendo?

R: É necessário estabelecer um referencial. O movimento é sempre relativo. Podemos dizer que em relação à cerca e às árvores que aparecem ao fundo, o trem está parado e a plataforma está se movendo. Contudo, quem está na plataforma se sente parado e vê todo o resto se mover no sentido oposto.

4. Você, neste momento, está parado em relação ao chão?

R: Sim

5. Você, em relação ao Sol, está parado ou se movendo?

R: Movendo-se

PERSEGUIÇÃO

1. Aos 4 minutos e 10 segundos, um dos terroristas na van aponta uma bazuca na direção de Marty McFly. Durante este momento e nos 5 segundos seguintes, responda:
- o terrorista está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	(X)
em relação ao DeLorean	(X)	()
em relação à van	(X)	()
 - Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	(X)
em relação ao DeLorean	(X)	()
em relação à van	(X)	()

2. O que você pode dizer sobre a velocidade dos dois veículos?

R: São iguais

3. Você diria que os observadores nos dois veículos concordam ou discordam em relação ao que está em movimento e o que está parado?

R: Concordam

5. Depois, aos 4 minutos e 15 segundos Marty tenta fugir e, inicialmente, a câmera mostra o ponto de vista (referencial) dos terroristas. Logo em seguida, temos o ponto de vista do DeLorean (como se Marty olhasse para trás), e vemos a van dos terroristas. Com base neste trecho, responda:

- o terrorista está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:

Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	(X)
em relação ao DeLorean	()	(X)
em relação à van	(X)	()

iv. Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:		
Referencial	Parado	Em movimento
em relação ao chão	()	(X)
em relação ao DeLorean	(X)	()
em relação à van	()	(X)

5. Você diria que os observadores nos dois veículos concordam ou discordam em relação ao que está em movimento e o que está parado?

R: Discordam

VELOCIDADE RELATIVA

1. Aos 1 minutos e 10 segundos vemos Marty e Doc em cima do trem. Marty está parado ou em movimento em relação aos seguintes referenciais:
- | | | |
|--------------------|--------|--------------|
| Referencial | Parado | Em movimento |
| em relação ao trem | () | (X) |
| em relação ao chão | () | (X) |

2. Considere os dois referenciais anteriores, um observador no chão e outro no trem. Eles concordariam com a velocidade de Marty?

R: Não, um observador no chão diria que Marty tem uma velocidade maior do que aquela medida por um observador no trem.

3. Se o trem tem uma velocidade de 80 km/h em relação ao chão, e Marty tem uma velocidade de 4 km/h em relação ao trem.
- a) Qual a velocidade de Marty em relação à um observador sentado no trem?

R: $V_{trem} = 4 \text{ km/h}$

- b) qual a velocidade de Marty medida em relação ao chão?

R: $V_{chão} = 80 \text{ km/h} + 4 \text{ km/h} = 84 \text{ km/h}$.

4. Invariância da velocidade da luz e as transformações de Lorentz
 Imagine agora uma situação semelhante à anterior, com um trem em movimento, mas agora muito mais rápido, andando a 10 km/s. Ao invés de alguém correndo, imagine uma pessoa sentada no trem, com uma lanterna acesa. Sabemos que a velocidade da luz no vácuo é de aproximadamente 300.000 km/s. Com base no que consideramos anteriormente, qual seria a velocidade da luz que sai da lanterna:

a) em relação ao trem (e à pessoa sentada);

R: 300.000 km/s.

c) em relação ao chão.

R: 300.010 km/s.

5. Diversos experimentos têm mostrado que a velocidade da luz no vácuo possui sempre o mesmo valor (300.000 km/s) independente da velocidade do referencial que a observa, **contanto que a velocidade seja constante**. Isto é, não temos como "acelerar" um feixe de luz. Empurrar uma lanterna para frente não faz com que a luz ande mais rápido. Assim, a nossa resposta para o item b) deveria ser, na verdade, 300.000 km/s.

Vamos definir, por enquanto, os **referenciais inerciais** como aqueles que se movem com velocidade constante em relação a outro referencial. Desta forma, estes referenciais sempre medirão o mesmo valor para a velocidade da luz. Caso contrário, se o referencial acelera em relação ao outro, diremos que eles são **referenciais não-inerciais**

Classifique os referenciais como inerciais ou não-inerciais de acordo com cada questão respondida anteriormente:

Questão	Referencial relativo ao chão	Inercial	Não-inercial
Questão 1	Trem	(X)	()
	Plataforma	(X)	()
Questão 2	DeLorean	(X)	()
	Van	(X)	()
Questão 3	DeLorean	()	(X)
	Van	(X)	()
Questão 4	Trem	(X)	()
	Chão	(X)	()

O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA

Valor da aceleração da gravidade: Se estamos na superfície da Terra, a distância entre a pessoa e o centro da Terra é o próprio raio terrestre, ($R_T = 6.378 \text{ km}$) e, considerando a massa da Terra como $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, qual o valor de g na superfície da Terra?

$$R: g = \frac{6,67 \times 10^{-11} \cdot 5,97 \times 10^{24}}{(6,378 \times 10^6)^2} \rightarrow g = \frac{39,8199 \times 10^{13}}{40,678884 \times 10^{12}} \rightarrow \\ \rightarrow g = 0,9788 \times 10 \rightarrow g = 9,78 \text{ m/s}^2$$

Calcule a aceleração da gravidade na superfície dos seguintes corpos celestes, considerando sua massa e raio:

Planeta	Massa (10^{24} kg)	Raio (km)	g (m/s^2)
Marte	0,642	3.396	3,71
Júpiter	1.898	71.492	24,7
Lua	0,073	1.737	1,61

Gravidade na estação espacial

Utilize a equação (3) para calcular a aceleração da gravidade devido à Terra para uma pessoa a uma distância de 400 km da superfície da Terra, como mostra a figura abaixo:

R: De acordo com a equação (3), usando $r = 6.378 \text{ km} + 400 \text{ km}$, temos $g = 8,67 \text{ m/s}^2$.

Agora se, de repente, o cabo do elevador se soltar, o mesmo cairá em queda livre pelo poço. Vamos desprezar qualquer efeito da resistência do ar, como fizemos no início. Com base no experimento descrito no início, com o martelo e a pena, o elevador, a balança e o cientista cairão ao mesmo tempo ou algum deles cairá mais rápido ou devagar que o outro?

R: Todos cairão com a mesma aceleração e velocidade.

Se todos caem com a mesma aceleração e velocidade, note que o cientista não conseguirá pisar sobre a balança, ou mesmo pressioná-la contra o chão do elevador! Se isso acontece, qual será o valor da força normal? Quanto a balança marcará?

R: A força normal será nula e a balança marcará zero.

1) O princípio da equivalência

Lembrando que a força centrípeta é dada por $F = m\omega^2 R$, onde ω é velocidade angular da nave, e lembrando que a segunda lei de Newton nos diz que a força sentida por um corpo é $F = ma$, descubra qual a velocidade angular necessária para que o astronauta sinta uma aceleração igual a aceleração da gravidade na Terra ($a=9,8 \text{ m/s}^2$).

R:

$$F_1 = F_2 \rightarrow m \cdot a = m \cdot \omega^2 \cdot R \rightarrow a = \omega^2 \cdot R \rightarrow 9,8 = \omega^2 \cdot 65 \rightarrow \omega^2 = \frac{9,8}{65} \rightarrow$$
$$\rightarrow \omega = \sqrt{0,1507} \rightarrow \omega = 0,388 \text{ rad/s.}$$

DESVIO DA LUZ

1. Discuta a situação acima com seus colegas e escolha qual a alternativa que melhor descreve, na opinião de vocês, a trajetória percorrida por um feixe de laser ao cruzar a nave, do ponto de vista (no referencial) de quem está dentro da nave.

R: A resposta é a alternativa C. No entanto, o intuito dessa pergunta é simplesmente gerar uma discussão entre os alunos. Talvez alguns se lembrem das aulas de óptica e da propagação retilínea da luz (na aproximação geométrica), e se sintam tentados a escolher a alternativa B. Ainda, alguns podem achar que a luz é acelerada para cima, junto do foguete, dando como resposta a alternativa A.

Buracos Negros

Calcule a velocidade de escape para a Terra e para a Lua.

R:

$$v_{\text{escape-Terra}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \times 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}}{6,3 \times 10^6 \text{ m}}} = 11.200 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{escape-Lua}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \times 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}}{1,74 \times 10^6 \text{ m}}} = 2.370 \text{ m/s}$$

Qual seria o valor do raio de Schwarzschild para o Sol? Considere a massa do Sol como $M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$.

R:

$$R_s = \frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \times 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2} = 2,95 \times 10^3 \text{ metros}$$

Se o raio do Sol é $R_{\odot} = 6,95 \times 10^8$ metros, o raio de Schwarzschild fica dentro ou fora do Sol?

R: O raio de Schwarzschild ficará dentro do Sol.

1. De acordo com o filme *Interstellar*, o buraco negro *Gargantua* possui uma massa igual a 100 milhões de vezes maior do que o Sol, ou seja, $10^8 M_{\odot}$.

Calcule qual o Raio de Schwarzschild deste buraco negro.

R:

$$R_s = \frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \times 1,99 \times 10^{30} \text{ kg} \times 10^8}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2} = 2,95 \times 10^{11} \text{ metros}$$

O buraco negro em M87

1. Para ter uma noção de tamanho, pesquise qual a distância do Sol até Plutão, em metros. O Sistema Solar caberia dentro do horizonte de eventos deste buraco negro?

R: Sim

2. De posse do valor do raio de Schwarzschild, qual a massa desse buraco negro em kg?

R:

$$M = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \times 4,0 \times 10^{13} \text{ kg}}{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2} = 2,7 \times 10^{40} \text{ kg}$$

3. Quantas vezes este buraco negro é mais massivo que o Sol?

R:

$$\frac{M}{M_{\odot}} = \frac{2,7 \times 10^{40} \text{ kg}}{1,99 \times 10^{30} \text{ kg}} = 1,36 \times 10^{10} \text{ vezes}$$

DILATAÇÃO TEMPORAL

- Imagine que você vá visitar uma amiga na praia (ou seja, ao nível do mar) e vocês sincronizem os seus relógios de modo que eles estejam marcando exatamente o mesmo horário. No fim da visita, você segue para a serra (a uma altitude de 800 metros) com o seu relógio, enquanto sua amiga fica na praia.

Para cada segundo no relógio da praia, quantos segundos se passam no relógio da serra?

R:

$$\begin{aligned} \text{Substituindo os valores, } \Delta t_{\text{cima}} &= 1 \text{ segundo} \left(1 + \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 8,00 \times 10^2 \text{ m}}{\left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2} \right) = \\ &= 1 + 8,72 \times 10^{-14} \text{ segundos} = 1,00000000000000872 \text{ segundos} \end{aligned}$$

- Qual será a diferença de tempo entre os relógios após 1 ano, quando você voltar para reencontrar sua amiga?

R: Ao longo de um ano temos 31.563.000 segundos, então o atraso será de
 $31.563.000 \text{ segundos} \times 8,72 \times 10^{-14} = 2,75 \times 10^{-6} \text{ segundos}$

O satélite de GPS

- Se o potencial gravitacional é dado por $\phi = \frac{GM_T}{R}$, onde R é a distância **do corpo até o centro da Terra**, calcule a diferença de potencial gravitacional entre o receptor de sinal (na superfície da Terra) e o satélite em órbita: $\Delta\phi = \phi_{\text{receptor}} - \phi_{\text{satélite}}$. (Suponha que o satélite esteja a uma altura $h = 2,02 \times 10^7$ metros **da superfície da Terra**, e o raio da Terra seja $R_T = 6,3 \times 10^6 \text{ m}$).

R:

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= GM_T \left(\frac{1}{r_T} - \frac{1}{R_{\text{órbita}}} \right) = \\ &= 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot 5,97 \times 10^{24} \text{ kg} \left(\frac{1}{6,3 \times 10^6 \text{ m}} - \frac{1}{2,65 \times 10^7 \text{ m}} \right) = \\ &= 4,82 \times 10^7 \text{ J/kg}. \end{aligned}$$

2. De acordo com a Relatividade Geral, o tempo passa mais rápido para os observadores em campos gravitacionais menos intensos. Isso significa que o tempo passa mais devagar para os relógios dos receptores de sinal na Terra do que para os relógios a bordo do satélite em órbita. A equação que nos dá o atraso relativo dos dois relógios é:

$$\frac{\Delta t_{satélite}}{\Delta t_{receptor}} = 1 + \frac{\Delta\phi}{c^2}$$

Para cada segundo medido pelo relógio do receptor ($\Delta t_{receptor} = 1 \text{ segundo}$), quantos segundos são medidos pelo relógio do satélite?

R:

$$\begin{aligned} t_{satélite} &= \left(1 + \frac{\Delta\phi}{c^2}\right) \cdot 1 \text{ segundo} = \left(1 + \frac{4,82 \times \frac{10^7 \text{ J}}{\text{kg}}}{\left(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}\right) \cdot 1 \text{ segundo} = \\ &= 1 + 5,36 \times 10^{-10} \text{ segundos} = 1,000000000536 \text{ segundos} \end{aligned}$$

3. Além do efeito gravitacional, a *teoria da relatividade especial* também nos diz que por viajar a uma velocidade relativamente alta em relação à Terra, o relógio no satélite se atrasa por $8,3 \times 10^{-11}$ segundos. No total, o relógio do satélite se adianta, portanto, cerca de $4,53 \times 10^{-10}$ segundos para cada segundo que se passa no receptor na Terra.

Ao longo de 1 dia todo (86.400 segundos), quantos segundos o relógio do satélite ficará adiantado?

$$\text{R: } \Delta t_{satélite} = 4,53 \times 10^{-10} \cdot 86.400 \text{ segundos} = 3,91 \times 10^{-5} \text{ segundos.}$$

Interstellar

1. Com isso, podemos dizer que o potencial gravitacional é maior na superfície da Terra ou na superfície do planeta que os astronautas estão visitando? Explique sua resposta.

R: O potencial gravitacional será maior onde o tempo passar mais devagar, ou seja, no planeta em que os astronautas estão visitando.

2. Se $\Delta t_{perto} = 1$ hora e $\Delta t_{longe} = 7$ anos, utilize o valor encontrado para R_S na atividade anterior e calcule qual a distância R que o planeta está do centro do buraco negro.

R: Elevando os dois lados da equação acima ao quadrado e isolando R , obtemos:

$$R = \frac{R_S}{1 - \left(\frac{\Delta t_{perto}}{\Delta t_{longe}}\right)^2}$$

Utilizando os valores indicados para o tempo (7 anos = 7 x 365 x 24 horas = 61320 horas), e o valor de R_S ($= 2,95 \times 10^{11}$ m) calculado anteriormente, encontramos:

$$R = \frac{2,95 \times 10^{11} \text{ metros}}{1 - \left(\frac{1 \text{ hora}}{61320 \text{ horas}}\right)^2} = 2,95000001 \times 10^{11} \text{ metros.}$$

Vemos, portanto, que a órbita do planeta é quase no horizonte de eventos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente o ensino de Relatividade Restrita e Geral no ensino médio está baseado em pequenos tópicos a serem trabalhados no final do ano letivo se tiver tempo, sendo assim foi proposta a criação de UEPS, para melhorar a aprendizagem dos alunos.

Com essa UEPS sobre relatividade, tínhamos como objetivo introduzir conceitos de Relatividade Restrita e Geral, na qual o professor utilizou-se de recortes de filme de ficção científica em uma sequência para motivar os alunos, portanto partindo dos filmes pode-se introduzir roteiros com fundamentação.

Sendo assim os alunos despertaram maior interesse pelo conhecimento sobre conceitos de relatividade, pois as aulas passaram a ser mais dinâmicas, já que as mesmas partiam sempre de conhecimentos adquiridos anteriormente para um novo ponto de vista, dando aplicação ao conhecimento científico adquirido no processo do roteiro.

O produto didático foi aplicado também no Novo ensino Médio (NEM), na componente curricular eletiva (CCE) – conhecimento científico em ciências da natureza, a qual se teve melhor resultado, pois o CCE disponibiliza de mais tempo para trabalhar o assunto e a turma no geral é constituída de alunos com interesse no assunto, fazendo assim com que alunos estivessem mais estimulados e entender e aprender os conceitos tratados nos roteiros.

6. REFERÊNCIAS

[Moreira UEPS] MOREIRA, Marcos Antônio. **Unidades de ensino potencialmente significativas**, Porto Alegre, Versão 6. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> Acesso em: julho de 2016.

2001: UMA ODISSÉIA NO ESPAÇO. Direção de Stanley Kubrick. Estados Unidos: Century Fox, 1968. (142 min).

A MÁQUINA DO TEMPO. Direção de Simon Wells. Estados Unidos: DreamWorks e Warner Bros, 2002. 1 DVD (96 min)

ALMEIDA, Fabiana Ribeiro de. **A ficção científica na ficção escolar: investigando as potencialidades do gênero no ensino de física'** 01/03/2008 87 f. Mestrado em EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA E O ENSINO DE MATEMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, MARINGÁ Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da Universidade Estadual de Maringá

BORGES, A. T. Novos Rumos Para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino Física**, v. 19, n. 3, dez. 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM+): Física. Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

CARVALHO, A. M. P. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-20. 2013.

CHITOLINA, Diogo. Pêndulo simples dentro de um avião – Repouso ou movimento. Youtube, 4 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://youtu.be/4J7mn4RtnvM>>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.

CHITOLINA, Diogo. Referencial Inercial – Pêndulo no avião. Youtube, 5 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://youtu.be/XAqWqF1wF44>>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.

Construindo possibilidades para o ensino de física: a experiência didática do “cine física”

CONTATO. Direção de Robert Zemeckis. Estados Unidos: Warner Bros, 1997. 1 DVD (150 min.).

DE VOLTA para o Futuro II. Direção de Robert Zemeckis. Estados Unidos: Fox Studios, 1989. DVD (108 min.).

DOUTOR Estranho. Direção de Scott Derrickson. Estados Unidos: Marvel studios, 2016. 1 DVD (115 min.).

EFEITO BORBOLETA. Direção de Eric Bress e J. Mackye Grube. Estados Unidos: New Line Cinema, 2004. 1 DVD (113 min)

EINSTEIN, Albert. **A teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução: Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula. São Paulo: Cengage Learning, p. 1-20. 2013.

FAGUNDES, Helio **Teoria da relatividade: no nível matemático do ensino médio**. São Paulo: Editora livraria da Física, 2009.

HENRIQUES, Alfredo Barbosa. **Teoria da Relatividade Geral uma Introdução**. 1ª edição. Lisboa: Editora IST Press, 2009.

INTERESTELAR. Direção de Christopher Nolan. Estados Unidos e Reino Unido: AIR Studios, 2014. 1 DVD(169 min.).

LUCINDA, Jair. Princípio da relatividade de Galileu. Youtube, 5 de junho de 2013. Disponível em: <<https://youtu.be/DUOShbOWcRA>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

LUCINDA, Jair. Relatividade de Galileu. Blogspot. 14 de outubro de 2013. Disponível em:<<http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

MARTIN-DIAZ, M. J. et al. **Science Fiction Comes into The Classroom: Maelstrom II**. Phys. Educ. 27, 1992. 18-23.

MORAIS, Eduardo Messias de. **Modelo Unificado para o Fluido Cosmológico**. Graduação em Bacharelado Interdisciplinar de Ciência Tecnologia – UNIFAL. Minas Gerais, 2011.

MOREIRA, Marcos Antônio e MASSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marcos Antônio. **A física dos quarks e a epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a01v29n2.pdf>> . Acesso em: 19 de novembro de 2019.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006.

- MOREIRA, Marcos Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.
- MOREIRA, Marcos Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo-SP: Editora Gen, 2011.
- MOREIRA, Marcos Antônio. **Unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS**, Aprendizagem Significativa em Revista, v 1, n. 2, 2011.
- MOREIRA, Marcos Antônio; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias Construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física-UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de física, n.10)
- NITTA, Hideo. et al. Guia mangá relatividade. São Paulo: Editora Novatec, 2011.
- NUSSEZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**. Volume 1: Mecânica, 5ª edição. São Paulo: Blucher, 2013.
- NUSSEZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**. Volume 4: Mecânica, 5ª edição. São Paulo: Blucher, 2013.
- OS VINGADORES: Ultimato. Direção de Anthony Russo e Joe Russo. Estados Unidos: Marvel Studios, 2019. 1 DVD(181 min.).
- PIASSI, L. P, GOMES, E. F e RAMOS, J. E. F. **Literatura e cinema no ensino de física: interfaces entre a ciência e a fantasia**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- PIASSI, L. P. C. **CLÁSSICOS DO CINEMA NAS AULAS DE CIÊNCIAS - A FÍSICA EM 2001: UMA ODISSEIA NO ESPAÇO**. Ciênc. Educ., Bauru, v. 19, n. 3, p. 517-534, 2013
- PIASSI, L. P. C. **Contatos**: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sociocultural. 2007. 453 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- PIASSI, L. P. e PIETROCOLA, M. **Ficção científica e ensino de ciências: para além do método de ‘encontrar erros em filmes**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 525-540, set/dez.2009.
- PIETROCOLA, Maurício. Et al. **Física em contextos**. Volume 3: Ensino Médio. – São Paulo: Editora do Brasil, 2016.
- PLANETA DOS MACACOS. Direção de Tim Burton. Estados Unidos: Twennth Century Fox, 2001. 1 DVD (110 min.).
- RODRIGUES, Carla Moraes. **A inserção da física moderna no ensino médio aliada à tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS)**. Santa Maria, RS, Brasil – 2011.
- RODES, G. P. **“O processo de implementação de uma sequência de ensino investigativa e o desenvolvimento de conceitos relacionados à hidrostática no**

Ensino Médio". Dissertação (Mestrado em Física) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

ROGERS, C. R. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte, Interlivros, 1972.

SANTOS, Gabriela Martins dos. Teoria da Relatividade Restrita. Projeto Olímpicos. 27 de novembro de 2020. Disponível em: <https://olimpicos.net/wp-content/themes/olimpicos/assets/includes/cursodeastro/pdfs/Relatividade_Restrita-1.pdf> Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

STAR Trek. Direção de J. J. Abrams. Estado Unidos: COR, 2009. 1 DVD (126 min).

THOR. Direção de Kenneth Branagh. Estados Unidos: Marvel studios, 2011. 1 DVD (114 min.).

VYGOTSKY, L. S. **A Formação social da mente**. 4 ed. São Paulo – SP: Livraria Martins, 1991.

WOLFF, J. F. de S. e MORS, P. M. **Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física; editores Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit - Vol. 16, n. 5 (2005).