



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA**

PAULO ROBERTO F. DA S. SOBRINHO

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO:
Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade
Restrita**

Manaus – AM
2021



INSTITUTO FEDERAL
AMAZONAS



**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO:
Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade
Restrita**

PAULO ROBERTO F. DA S. SOBRINHO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Igor Padilha

Manaus – AM
2021

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO:
Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade
Restrita**

Paulo Roberto F. da S. Sobrinho

Orientador(es):
Dr. Igor Padilha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas / Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas no curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) Polo 4, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Igor Tavares Padilha (Presidente) - UFAM

Dr. Márcio Gomes da Silva (Membro interno) - IFAM

Dr. André Maurício Brinatti (Membro externo) - UEPG

Manaus – AM
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586s Silva Sobrinho, Paulo Roberto Ferreira da.
Sequência didática para o ensino médio sobre o tempo: breves
implicações filosóficas sobre o tempo e a teoria da relatividade restrita /
Paulo Roberto Ferreira da Silva Sobrinho. – Manaus, 2021.
120 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas,
Campus Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha.
Acompanha produto educacional - Apêndice.

1. Ensino de física. 2. Teoria da relatividade restrita. 3. Mapas
conceituais. I. Padilha, Igor Tavares. (Orient.) II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade Federal do
Amazonas. V. Título.

CDD 530.11

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que desejaram meu fracasso me desafiando, e a todos aqueles que desejaram meu sucesso me encorajando.

Agradecimentos

A minha filha, Maria Luísa Gomes da Silva, e a minha esposa, Deborah Souza Gomes, minhas companheiras de longas horas de trabalho e muita paciência pelos dias ausentes.

A minha mãe, Margarida Silva do Nascimento, e meu pai, Bruno Roberto Ferreira da Silva, que dentro do possível me ajudaram e ainda me ajudam com conselhos e amor incondicional.

Aos meus amigos da turma de 2019, Estanislau Sant'anna, Paulo Tavares, Priscila Tibúrcio, Silvia Andrade, Tamiles Moreira e a Bruno Barbosa, um amigo e irmão mais velho que a vida me deu, agradeço imensamente pelo incentivo e dicas nesta jornada.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 4 que diante de todas as adversidades se comprometeram a nos ajudar no desenvolvimento deste trabalho, em especial ao meu orientador pela paciência e incentivo no momento certo.

Aos amigos e irmãos que a vida me presenteou nessa caminhada, Leonardo Barbosa e Raul Queiroz que nunca deixaram de acreditar em mim.

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

RESUMO

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita

Paulo Roberto F. da S. Sobrinho

Orientador:
Dr. Igor Padilha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação IFAM no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Ao estudar física, somos instruídos com as equações de Newton, que fundamentam a dinâmica do movimento, as equações de Maxwell, que descrevem as ondas eletromagnéticas, as equações de Schrodinger, que fundamentam a física quântica e a Teoria Quântica de Campo que descreve a dinâmica de partículas atômicas e subatômicas. O importante a se perceber é que a física é uma ciência de como as coisas evoluem com o tempo, mas o mais estranho disso tudo é que sua natureza é o maior dos mistérios. No eventual trabalho será apresentado breves reflexões sobre o tempo desde os pensadores antigos até a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, visto que, está é uma teoria construída com intuito de explicar o espaço e o tempo. Uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) será aplicada com o auxílio de mapas conceituais com o intuito de facilitar o ensino desse conteúdo tão fascinante e misterioso, para alunos do Ensino Médio. As aulas foram aplicadas no período de pandemia de Covid-19, inicialmente planejadas para o ensino remoto, contudo, as novas medidas adotadas pelo Governo do Estado do Amazonas permitiram aplicar o produto presencialmente.

Palavras-chave: Ensino de Física, UEPS, Teoria da Relatividade Restrita, Mapas Conceituais.

ABSTRACT

TEACHING SEQUENCE FOR HIGH SCHOOL ABOUT TIME: Brief philosophical implications about time and the Special Theory of Relativity

Paulo Roberto F. da S. Sobrinho

Orientador:
Dr. Igor Padilha

Master's Dissertation submitted to the IFAM Graduate Program in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF – Polo 4), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching

When studying physics, we are educated with Newton's equations, which underlie the dynamics of motion, Maxwell's equations, which describe electromagnetic waves, Schrodinger's equations, which underlie quantum physics, and Quantum Field Theory which describes dynamics of atomic and subatomic particles. The important thing to realize is that physics is a science of how things evolve over time, but the strangest thing about it all is that its nature is the greatest of mysteries. In the eventual work, brief reflections on time will be presented from ancient thinkers to Einstein's Special Theory of Relativity, since this is a theory built to explain space and time. A proposal for a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) will be applied with the help of concept maps in order to facilitate the teaching of this fascinating and mysterious content to high school students. The classes were applied during the Covid-19 pandemic period, initially planned for remote teaching, however, the new measures adopted by the Government of the State of Amazonas made it possible to apply the product in person.

Keywords: Physics Teaching, UEPS, Special Theory Relativity, Concept Maps.

Lista de figuras

Figura 1 – Exemplo de um mapa conceitual simples	6
Figura 2 – Modelo de referência de mapa conceitual retirado do livro "Aprender a Aprender" ...	8
Figura 3 – Mapa conceitual da visão aristotélica	11
Figura 4 – Mapa conceitual da visão agostiniana	12
Figura 5 – Mapa conceitual da visão kantiana	14
Figura 6 – Mapa conceitual da visão bergsoniana	15
Figura 7 – Mapa conceitual da visão heideggeriana	17
Figura 8 – Relatividade da simultaneidade	25
Figura 9 – Dois referenciais inerciais K e K' com velocidade relativa V	29
Figura 10 – Espaço e tempo antes de Einstein	33
Figura 11 – Barra medida no referencial K'	34
Figura 12 – Barra medida no referencial K	34
Figura 13 – A estrutura do “espaço-tempo”. Para cada observador, o “presente estendido” é a zona intermediária entre o passado e o futuro.	36
Figura 14 – Do que é feito o mundo?	38
Figura 15 – Interface do simulador Lei de Faraday com velocidade relativa nula entre o ímã e a espira	40
Figura 16 – Interface do simulador Lei de Faraday com velocidade relativa diferente de zero entre o ímã e a espira	41
Figura 17 – Nuvens de palavras desenvolvido através do Mentimeter	44
Figura 18 – Tela de apresentação da primeira aula (slide)	45
Figura 19 – Primeira aula na turma 2 sobre as visões filosóficas	45
Figura 20 – Momento da aplicação da primeira atividade em sala	46
Figura 21 – Classificação dos pensadores realizada por um aluno	46
Figura 22 – Questão da UEA de 2018, respondida por um aluno, que requiriria a transformação de Galileu	47
Figura 23 – Questão resolvida pelo professor para fins de fixação da contração e dilatação espaço-temporal	49
Figura 24 – Instante de realização do teste sobre a TRR	50
Figura 25 – Teste realizado por um aluno sobre a Teoria da Relatividade Restrita	52

Lista de quadros

Quadro 1 – Resumo dos resultados do teste da UEPS.....	50
Quadro 2 – Quantidade de acertos relativos das questões teóricas e de cálculo	51

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo das aulas da UEPS.....	43
---	----

Sumário

Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivos	3
Capítulo 2 Abordando uma UEPS e os mapas conceituais	4
Capítulo 3 Algumas reflexões sobre o tempo	10
3.1 Aristóteles e o tempo	17
3.2 Isaac Newton e o tempo	19
3.3 A eletrodinâmica dos corpos em movimento e o éter	21
3.4 Einstein e o tempo	23
3.4.1 A relatividade da simultaneidade	24
3.4.2 O espaço segundo Einstein	26
3.4.3 Transformação de Galileu	26
3.4.4 Transformação de Lorentz	28
3.5 Efeitos cinemáticos da Transformação de Lorentz	33
3.5.1 Contração do espaço	33
3.5.2 Dilatação do tempo	35
3.5.3 Consequências diretas da Teoria da Relatividade Restrita	37
Capítulo 4 O produto educacional	39
4.1 Visão geral	39
4.2 Materiais e equipamentos	40
4.3 Recursos áudios visuais	41
4.3.1 Vídeo 01 – Lançamento em MRU	42
4.3.2 Vídeo 02 – Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade	42
4.4 Implementação da UEPS	42
Capítulo 5 Considerações finais	54
Referências Bibliográficas	56
ANEXO	59
APÊNDICES	60
Apêndice A – Uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita	60
Apêndice B – Endereço eletrônico dos slides utilizados em sala	63
Apêndice C – Planos de aula	64
Aula 01	64
Aula 02	65
Aula 03	68
Aula 04	70
Apêndice D – Produto educacional	72

Capítulo 1

Introdução

O tempo é uma questão fundamental para o desenvolvimento da física, não obstante teorias como a Gravidade Quântica em Loop e a famigerada Teoria das Cordas persistem na solução de uma questão tão primordial na história humana, um problema ainda não respondido e, com certeza, um dos maiores mistérios da humanidade evidente numa simples pergunta: O que é o tempo?

Como esclarece o professor Osvaldo Pessoa Jr.

Nossa intuição sobre o tempo é bastante bem desenvolvida, e é muito difícil conseguir um esclarecimento adicional consensual por meio da Filosofia. O único avanço consensual para além de nossa intuição do tempo parece serem os resultados da Teoria da Relatividade Restrita, exemplificada pelo experimento mental dos gêmeos viajantes. (PESSOA, 2020)

Compreender um pouco sobre o tempo dentro da perspectiva filosófica e física pode ser enriquecedor e curioso para o debate escolar por ser um problema ainda sem solução e de tantas teorias ao seu respeito. A dedicação de grandes pensadores a respeito desse tema é antiga e uma boa síntese é feita por Hans Reichenbach quando apresenta as suas propriedades topológicas do tempo (REICHENBACH, 1956):

- I. O tempo vai do passado para o futuro.
- II. O presente, que divide o passado do futuro, é agora.
- III. O passado nunca retorna.
- IV. Não podemos alterar o passado, mas podemos alterar o futuro.
- V. Podemos ter registro do passado, mas não do futuro.
- VI. O passado está determinado; o futuro é indeterminado.

As dificuldades a respeito do tempo são pertinentes, e o aluno do ensino médio conclui seu período escolar passando por tal tema totalmente despercebido e reduzindo-o, sem menosprezar, a simples transformações de unidades e problemas corriqueiros do cotidiano. Um problema como esse que já dura mais de milênios, que permeia a filosofia e a física, pode trazer a luz do ensino grandes contribuições para o processo de ensino e aprendizagem. Sendo assim, apresenta-se:

- 1) O resgate da Filosofia na Física;
- 2) Aproximação da Filosofia através da construção conceitual do tempo;
- 3) Observação das conexões, quando possível, entre a Filosofia e a Física;
- 4) A introdução da Teoria da Relatividade Restrita como resultado consensual.

O presente trabalho traz uma proposta por meio de uma Unidade de Ensino e Aprendizagem Significativa (UEPS) e mapas conceituais, com base teórica na aprendizagem significativa de Novak. A sequência de ensino abordará, brevemente, o desenvolvimento histórico, filosófico e físico sobre o tempo evidenciando as principais obras, na opinião do autor, a respeito das reflexões dos seguintes pensadores: Aristóteles, Santo Agostinho, Immanuel Kant, Henri Bergson e Martin Heidegger; e, é claro, dos físicos: Galileu, Newton e Einstein além de suas construções matemáticas. Esse processo será perpassado por vários recursos como softwares de simulação, vídeos e atividades pretendendo um processo mais dinâmico e significativo.

1.1 Justificativa

O ensino de Física brasileiro, para ser mais justo o ensino da área de exatas no geral, está cada vez mais enciclopédico. A grande importância para que os alunos decorem fórmulas e métodos de resoluções de problemas deslocados da realidade têm sido um grande problema, pois afasta e desencanta até os mais curiosos e aptos para o desenvolvimento da disciplina de física nas escolas. O processo de evasão brasileiro (ALESSANDRA, 2021) já é muito grande e a falta de profissionais em áreas como a Física só aumenta dados os diversos motivos como salário, má formação do professor, falta de estrutura, deficiência no ensino da matemática e o desânimo.

Além da falta e/ou despreparo dos professores, de suas más condições de trabalho, do reduzido número de aulas no Ensino Médio e da progressiva perda de identidade da Física no currículo nesse nível, o ensino da Física estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Estamos no século XXI, mas a Física ensinada não passa do século XIX. (MOREIRA, 2014, p.2)

Em relação ao estudante, é perceptível a falta de predisposição para aprender e de um material de aprendizagem potencialmente significativo que Novak caracteriza como condições para o fracasso de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999). Para Novak, um evento educativo é uma ação para trocar significados que deve estar acompanhada de uma experiência

afetiva, que por sua vez, está intimamente relacionada a predisposição para aprender. Estudar o tempo tanto do ponto de vista filosófico quanto físico permite ao estudante um olhar diferente das questões físicas, aproximando-o de problemas físicos reais, até daqueles sem solução, além de o conectar com uma Física mais moderna como a Teoria da Relatividade Restrita ou Especial proposta no trabalho.

1.2 Objetivos

O contato com o conhecimento histórico e filosófico tratado no trabalho visa ocupar a lacuna da predisposição para aprender criando uma experiência afetiva vinculada a tantas experiências exteriores e interiores dos vários pontos de vistas conceituais filosóficos a respeito do tempo. Os mapas conceituais e a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa visam proporcionar um material de aprendizagem significativo. Os mapas desenvolvidos se relacionam entre si proporcionando exemplos, construções e desconstruções o que favorece a troca de conhecimento adquirido de um pensador pelo seu contemporâneo, assim o professor de Física do 3º ano do ensino médio será auxiliado na tentativa de contemplar a filosofia e física do tempo até o entendimento sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Com esse intuito, podemos constituir os cinco elementos básicos de um evento educativo, de acordo com Novak, que são o aprendiz, o professor, o conhecimento, o contexto e a avaliação (MOREIRA, 1999).

Capítulo 2

Abordando uma UEPS e os mapas conceituais

O ensino de física não tem seguido as evoluções tecnológicas, a maioria das escolas ainda proporcionam aulas expositivas e monólogas, não que há algo de errado com isso, contudo uma sociedade que periodicamente está sendo atingida com ferramentas e avanços tecnológicos e uma geração fortemente influenciada por esses avanços, deixa claro, que o profissional da educação necessita de materiais de aprendizagem significativos. Incluir nossos alunos aos avanços tecnológicos permite uma gama de ferramentas maior para os desafios e os problemas da vida moderna e, os materiais de aprendizagem significativos podem ser uma alternativa nesse processo.

A proposta elaborada neste trabalho segue os oito passos sugeridos nas UEPS, em que no primeiro momento seria levantar os conhecimentos prévios dos alunos e, seguido da apresentação do conteúdo de uma forma mais geral e a partir daí cada assunto é abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integrativa (AUSUBEL, 2000).

Aspectos sequenciais (passos) da UEPS listados abaixo:

- 1) definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
- 2) criar/propor situação(ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
- 3) propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;
- 4) uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante

na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5) em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

6) concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

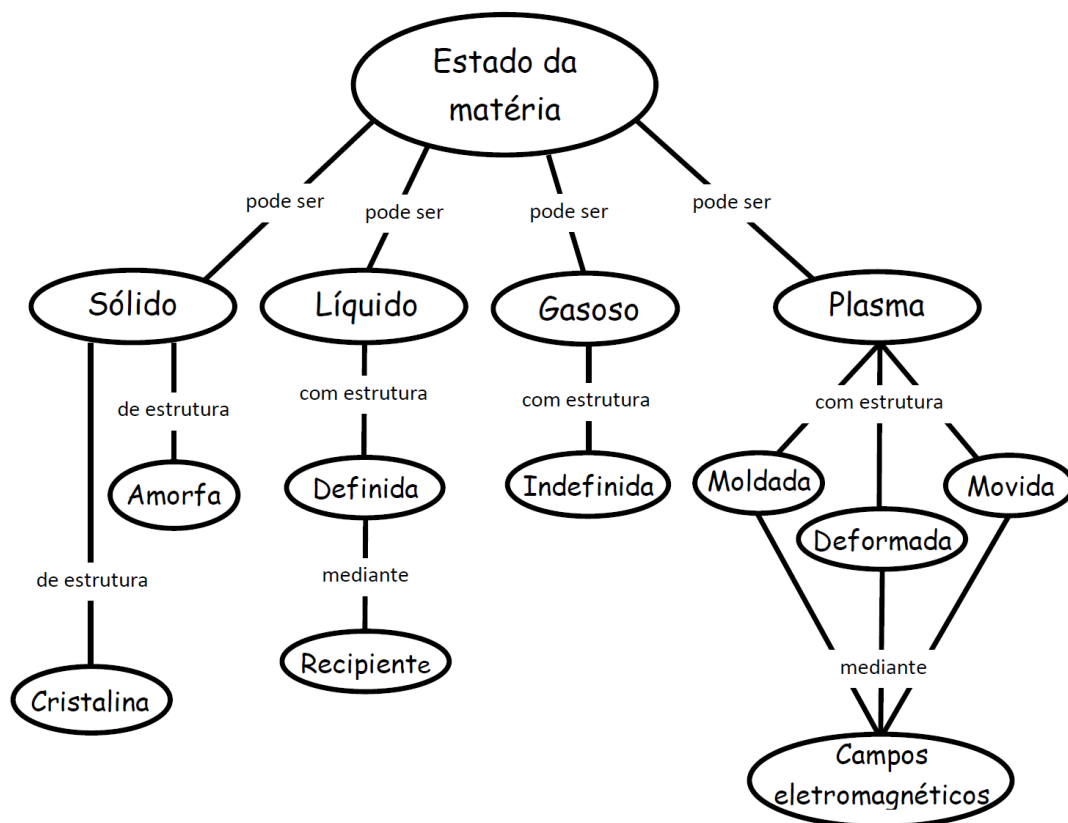
7) a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8) a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais. (MOREIRA, 2011)

Tais aspectos são indispensáveis para a organização e aplicação da sequência didática para a aprendizagem significativa que, neste trabalho, serão aliados da estrutura organizacional dos mapas conceituais.

O uso de mapas conceituais tem como objetivo apresentar relações significativas entre conceitos na forma de proposições, por exemplo, o mar é azul, são dois conceitos conectados por uma palavra de ligação o que forma uma proposição. Esta nova estrutura de significados apresenta ser muito benéfica depois de uma tarefa por mostrar um resumo esquemático (NOVAK, 1984, p. 31) do que foi aprendido, vide como exemplo a Figura 1, um simples mapa conceitual sobre o estado da matéria e algumas características.

Figura 1 – Exemplo de um mapa conceitual simples



Fonte: Próprio autor (2021)

Percebe-se na construção que os mapas conceituais devem ter hierarquia, os conceitos mais gerais devem estar no topo do mapa e os conceitos mais específicos são colocados sucessivamente debaixo deles, isto é, conceitos mais abrangentes na parte superior e, cada vez, menos abrangentes na parte inferior. Vale ressaltar o que Novak chama de “mapa de borracha”,

(...) praticamente qualquer conceito do mapa pode “ser elevado” para a posição superior, mantendo-se, no entanto, uma relação preposicional significativa com os outros conceitos do mapa (...)

À primeira vista, poderá parecer chocante verificar que o mesmo conjunto de conceitos pode ser representado em duas ou mais hierarquias válidas (...). (NOVAK, 1984)

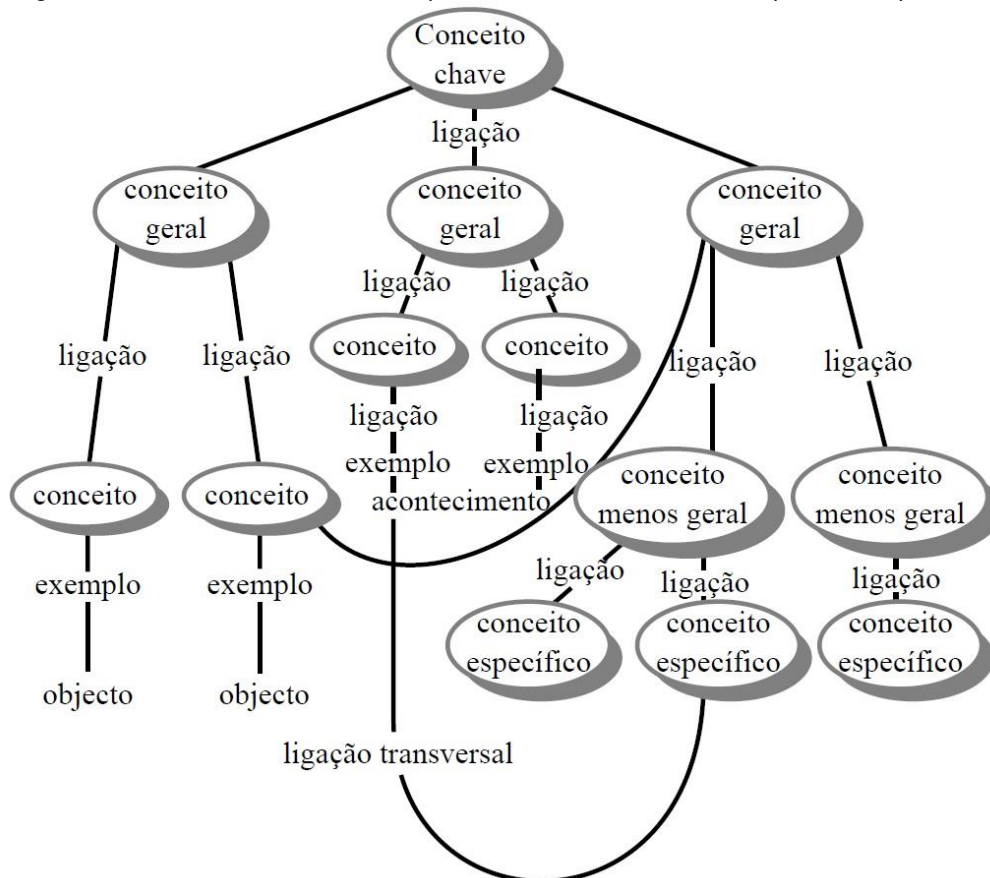
Essa capacidade de criar novas conexões na elaboração dos mapas desenvolve uma rica quantidade de relações conceituais, em “Aprender a aprender” Novak diz,

(...) É indubitável que, no processo de elaboração dos mapas, podemos desenvolver novas relações conceituais, especialmente se procurarmos ativamente construir relações preposicionais entre conceitos que até então não considerávamos relacionados: Os estudantes e os professores fazem notar frequentemente, durante a elaboração de mapas conceituais, que reconhecem novas relações e portanto novos significados (ou pelo menos significados que eles não possuíam conscientemente antes de elaborar o mapa). Neste sentido, a elaboração de mapas de conceitos pode ser uma atividade criativa e pode ajudar a fomentar a criatividade. (NOVAK, 1984)

A essa experiência de compreender o valor e os objetivos dos mapas para ensinar, Novak chama essa interiorização, de sentir o significado, estando sujeito a profundidade do novo conceito. E de acordo com seus ideais, propõe uma representação explícita dos conceitos e das proposições permitindo aos professores e alunos uma chance de trocar suas ideias e perspectivas. Sendo assim, para o estudante, os ganhos são a forma clara como os conceitos chaves são evidenciados dentro da estrutura hierárquica apresentada na *Figura 1*, por exemplo. Para o professor, os mapas conceituais podem indicar caminhos organizacionais dos significados, além das descobertas alternativas concebidas pelos estudantes.

Existem muitas formas de se construir mapas conceituais e os níveis de dificuldade por ele apresentado, para facilitar, um modelo bem detalhado do livro “Aprender a Aprender” de Novak será disponibilizado, como exemplo abaixo

Figura 2 – Modelo de referência de mapa conceitual retirado do livro "Aprender a Aprender"



Fonte: Novak (1984)

Neste modelo de referência vemos a hierarquia, as relações, ligações transversais e exemplos, repare que os exemplos não são rodeados com um círculo, visto que, não são conceitos, e se quiséssemos poderíamos até pontuar cada conceito e suas ligações de acordo com o nível de dificuldade.

Para Novak conceito é o nome dado a um comportamento regular ou designação de um termo para um objeto, visto que a construção do conhecimento, para ele, pode “envolver tanto os acontecimentos ou objetos de ocorrência natural como os acontecimentos ou objetos construídos pelo homem” (NOVAK, 1984, p. 20). Seus interesses são no pensamento, nos sentimentos e na ação, acreditando que estes são os elementos “presentes em qualquer experiência educativa e transformam o significado da experiência” (Novak, 1984, 21), que por sua vez, permite definir educação como um processo no qual há a procura ativa de mudança do significado da experiência.

Essa abordagem juntamente com os quatro lugares comuns – aprendiz, professor, matéria de ensino e contexto – proposta por Schwab “fazem parte de qualquer experiência educacional” (NOVAK, 1984, p. 23). Embora, para Moreira,

Novak introduz “um quinto elemento: a avaliação, então, propõe os cinco elementos, como: aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação” (MOREIRA, 1999, p. 168). No presente trabalho seguiremos a construção teórica de Novak aos olhos do professor Marco Moreira, sendo assim, o *aprendiz* adquirirá *conhecimento* interagindo com o *professor* (vídeos, software e mapas conceituais) na escola (*contexto*) e, por fim, será *avaliado*.

Capítulo 3

Algumas reflexões sobre o tempo

Convencionalmente, o tempo conhecido e vivido é o tempo cíclico e periódico enumerado em segundos, horas, dias..., talvez assim definido, apenas para necessidade de ordem que o homem necessita para compreender o mundo, pensamento análogo a que Platão definiu em Timeu. Percebe-se que essas classificações e representações numéricas são indefinidas, podendo ser descritas como qualquer intervalo numérico de tempo pelo homem. Sendo assim, uma questão maior para pensar o tempo, seja indagar sobre sua natureza sucessiva. (PUENTE, 2010 p.10)

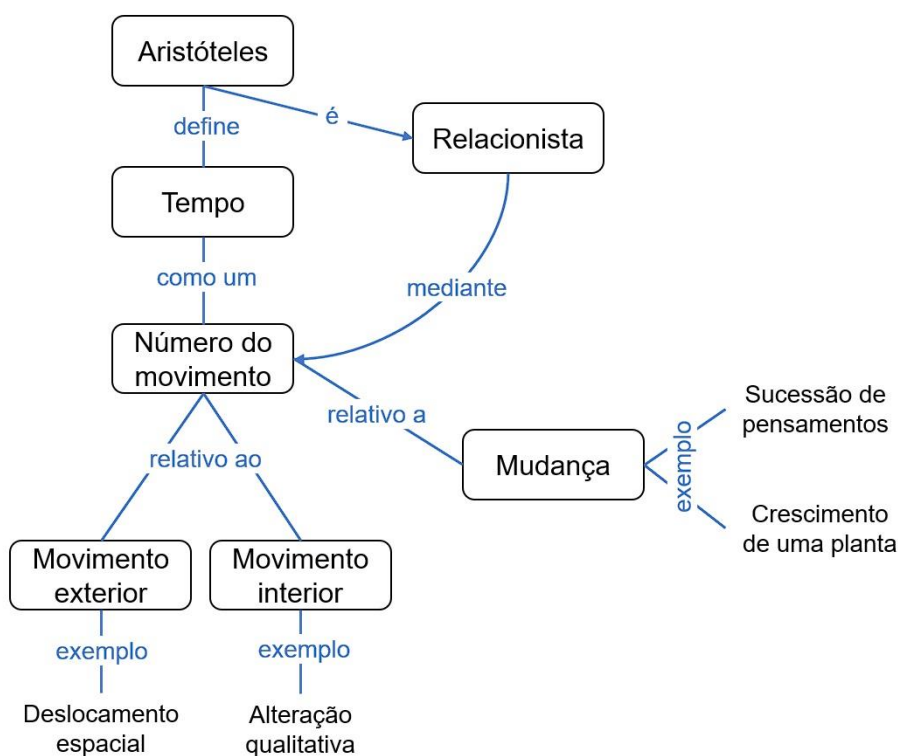
Muitos pensadores durante a história se incumbiram de entender e conceituar o tempo, e não é de se estranhar, com certeza é um dos maiores, senão, o maior mistério da humanidade. Dentre esses pensadores temos que destacar Aristóteles, Santo Agostinho, Kant, Bergson e Heidegger (os dois últimos do século XX). Uma forma simples e interessante de subdividir tantas interpretações é exaltar as concepções substantivistas e relacionistas de cada pensador. Tais concepções visam mostrar como o pensamento sobre o tempo ficou dividido, de forma geral, entre duas visões centrais da relação do tempo com o movimento que, de fato é o problema que nos guiará até a Teoria da Relatividade de Albert Einstein.

Até agora acreditava-se que o tempo e o espaço existiam por si mesmos até se não houvesse mais nada – nem sol, nem terra, nem estrelas –, no entanto, agora sabemos que o tempo e o espaço não são o recipiente do universo, mas nem mesmo existiriam se não houvesse o conteúdo, isto é, o sol, a terra e os outros corpos celestes.” Essa relatividade especial, que forma a primeira parte da minha teoria, aplica-se a todos os sistemas em movimento uniforme; isto é, movendo-se em uma linha reta com velocidade constante. Gradualmente eu fui sendo levado à ideia, aparentemente bem paradoxal na ciência, de que isso se aplica igualmente a todos os sistemas em movimento, mesmo em movimento acelerado, e assim eu desenvolvi a concepção da relatividade geral que forma a segunda parte da minha teoria. (LORENTZ, 2018)

Para Aristóteles (385-322 a.C.) há uma relação estreita entre o tempo e o movimento, se referindo tanto a um movimento exterior (deslocamento) quanto interior (alteração qualitativa), por exemplo, a sucessão de pensamentos, ou seja, qualquer coisa que evidenciasse que o tempo passou. O mapa conceitual

abaixo apresenta as ideias centrais da visão aristotélica de acordo com o autor, servindo como resumo esquemático para auxiliar na realização de atividades.

Figura 3 – Mapa conceitual da visão aristotélica

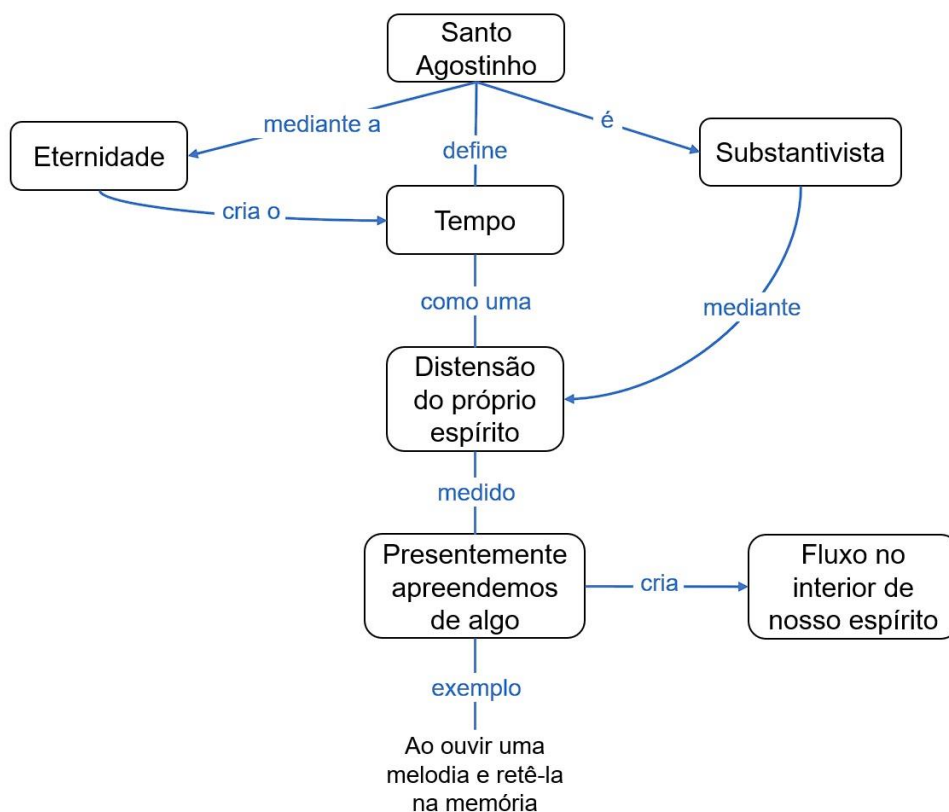


Fonte: Próprio autor (2021)

Tratando-se de Santo Agostinho (480-525), um dos maiores pensadores sobre o tempo desde Aristóteles, como consideram muitos pesquisadores, o tempo deve ser pensado a partir da eternidade, ou melhor, a partir de Deus vinculando-o a transcendência. Para ele, o tempo é uma distensão do próprio espírito ou alma. Tal conclusão foi levada pela reflexão da qual o passado e o futuro não existem, e o presente não dura para se apreender algo, porque um instante não tem duração apenas sucessão. É indubitável que o tempo tem que Ser, pois ele existe e seus efeitos são indiscutíveis, assim o presente é presentificado para existir explicação (BARROS FILHO, 2021) e, dessa forma, “o que se pode efetivamente medir quando mensuramos o tempo não é, por conseguinte, o próprio tempo, mas tão somente o nosso próprio espírito” (PUENTE, 2010, p. 31), ou seja, o tempo medido é aquilo que foi apreendido de algo como ao estudar e memorizar o conteúdo, ou escutar uma música e retê-la, ou topar numa pedra e sentir a dor por minutos a fio. O mapa conceitual abaixo

apresenta as ideias centrais da visão agostiniana de acordo com o autor, servindo como resumo esquemático para auxiliar na realização de atividades.

Figura 4 – Mapa conceitual da visão agostiniana



Fonte: Próprio autor (2021)

Immanuel Kant (1724-1804) talvez tenha sido um dos pensadores que mais influenciou a Filosofia Moderna, mais interessado na fundamentação do conhecimento humano procurou demarcar os limites da razão humana.

Que todo o nosso conhecimento começa com a experiência, isso não levanta a menor dúvida. Pois, por que coisa poderia o nosso poder de conhecer (Erkenntnisverníogen) ser acordado e posto em acção (zur Ausübung eru ekt) senão por objectos que affectam os nossos sentidos e que, por um lado, produzem por si mesmos representações e, por outro, põem em movimento a nossa faculdade intelectual, a fim de que ela compare, ligue ou separe tais representações, e trabalhe assim a matéria bruta das impressões sensíveis para delas tirar o conhecimento dos objectos que se chama a experiência? Deste modo, cronologicamente (der Zeit nach) nenhum conhecimento precede em nós a experiência e é com ela que todos começam. (REIS, 1999, p. 347)

Apresenta a condição a priori que determina a existência de algo antes de qualquer percepção, o espaço é um bom exemplo disso, visto que “Não se pode nunca ter uma representação sem espaço, embora se possa muito bem pensar que não há objetos no espaço (...)” (REIS, 1999, p. 349), dessa forma, o

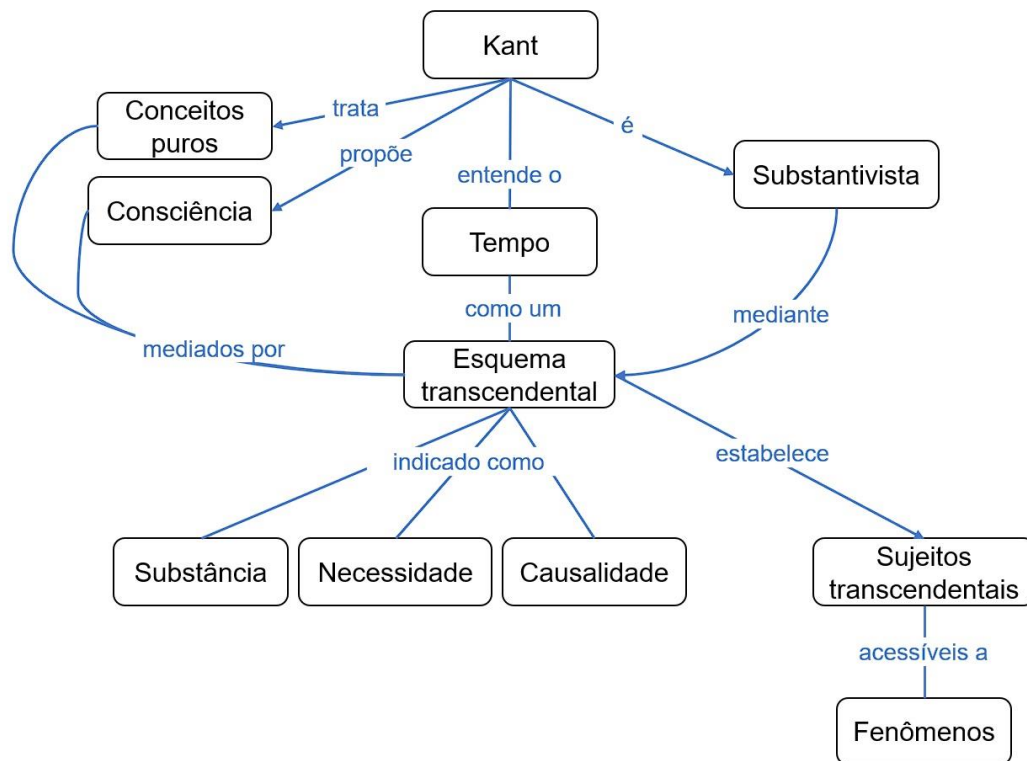
espaço é a condição necessária de ocorrência dos fenômenos, ou seja, independente da experiência.

A outra condição é a posteriori que determina a dependência das experiências sensoriais para a percepção de algo, dessa forma para que o homem elabore juízos, isto é, que pense, necessita aplicar à experiência sensível (a posteriori) os conceitos puros do entendimento (a priori). Para isso ocorrer é preciso haver uma mediação que é denominada por esquema transcendental. Como exemplo, o esquema da substância (permanência no tempo), da necessidade (permanência de algo em todo o tempo) ou da causalidade (sucessão temporal que obedece a alguma regra) deixam claro o tempo como função sintetizadora, isto é, o tempo protagoniza a visão kantiana de mundo.

O tempo é a condição formal a priori de todos os fenômenos em geral. O espaço, enquanto forma pura da intuição exterior, limita-se (...) aos fenômenos externos. Pelo contrário, como todas as representações, quer possam ter ou não por objectos coisas exteriores, pertencem em si mesmas, enquanto determinações do espírito, ao estado interno, e como este estado interno está sempre submetido à condição formal da intuição interior, por conseguinte pertence ao tempo, o tempo é uma condição a priori de todos os fenômenos em geral: é a condição imediata dos fenômenos interiores (da nossa alma) e, por isso mesmo, a condição mediata dos fenômenos exteriores. (REIS, 1999, p. 371)

Nessa definição anterior, Kant propõe a universalidade do tempo como condição dos fenômenos exteriores através da sua ação mediadora. Para simplificar, o mapa conceitual abaixo apresenta as ideias centrais da visão kantiana de acordo com o autor, servindo como resumo esquemático para auxiliar na realização de atividades.

Figura 5 – Mapa conceitual da visão kantiana



Fonte: Próprio autor

Henri Bergson (1859-1941), direciona sua obra a entender a duração, na verdade, a intuição da duração é o centro de sua filosofia, associando à própria consciência, isto é, “todo fenômeno que se apresenta à consciência dura” (PUENTE, 2010, p. 39). Assim, definiu o tempo real como o tempo vivido como duração.

Ele é (o verdadeiro tempo), como escreve em *Duração e Simultaneidade*, «um enriquecimento gradual, uma continuidade de invenção e de criação. O tempo é, para o ser que eu sou, o que há de mais real e de mais necessário; é a condição fundamental da acção; que digo eu? é a acção mesma; e a obrigação em que eu estou de o viver, a impossibilidade de jamais saltar por cima do intervalo de tempo a vir, bastariam para me demonstrar - se não tivesse disso o sentimento imediato - que o futuro está realmente aberto, que é imprevisível, indeterminado» (REIS, 2002, p. 182)

Existe uma diversidade de estados da consciência, mas Bergson classifica-os entre sentimentos, sensações e esforços para facilitar o entendimento da intensidade. Dessa forma, propõe que as sensações se referem a um objeto e os esforços ao movimento do corpo que se caracterizam por ocorrer na superfície da consciência, já o campo dos sentimentos são mais profundos como as emoções, exemplificadas pela dor, alegrias, tristezas ou paixões entre outros.

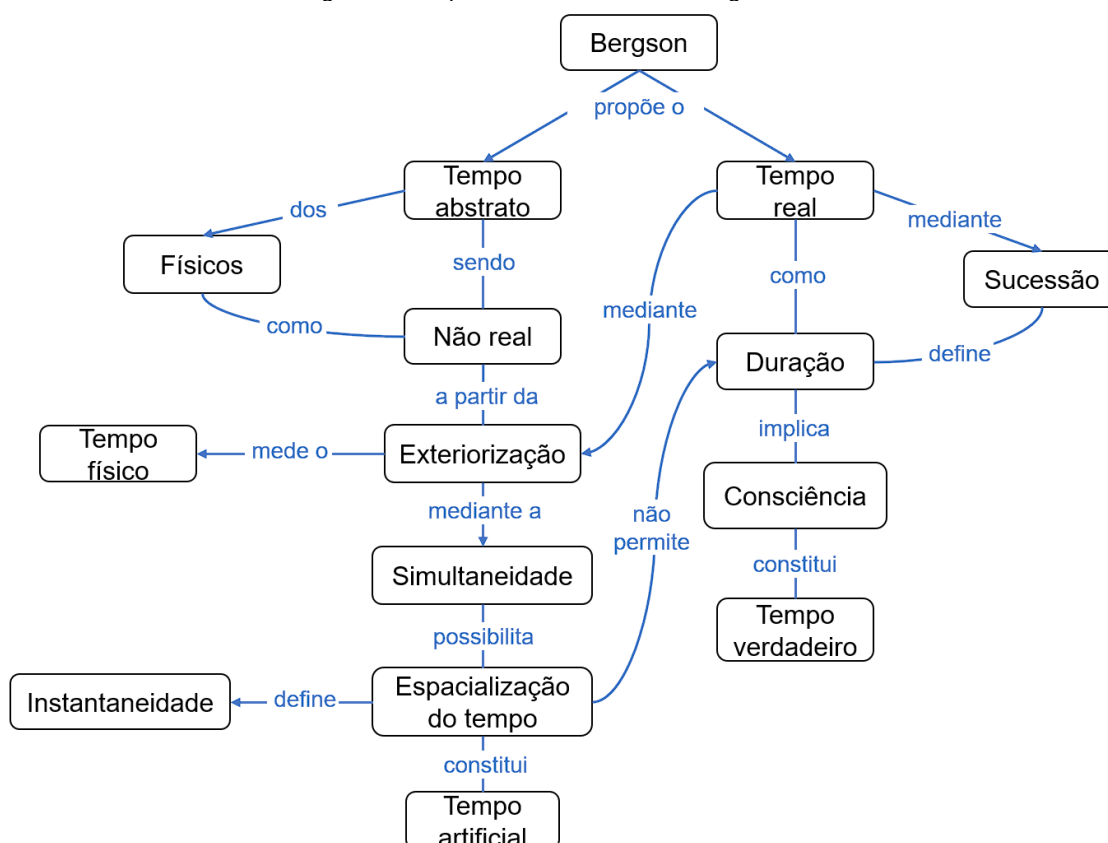
Sobre a duração, Bergson define como

Pode-se, pois, conceber a sucessão sem a distinção, e como uma penetração mútua, uma solidariedade, uma organização íntima de elementos, cada um dos quais, representativo do todo, não se distingue e não se isola dele senão por um pensamento capaz de abstrair. (REIS, 2002, p. 243)

Podemos pensar na definição anterior como uma música em que as notas ocorrem sucessivamente, ligadas uma à outra. Mas não ao mesmo tempo. Cada nota, portanto, se liga a outra fazendo parte de um conjunto, assim como o ritmo, a melodia e a harmonia constituem uma música.

Visto isso, o tempo de Bergson se divide em tempo real, aquele que dura na consciência como a memorização de uma música e o tempo abstrato, dos físicos, que não é real, pois a duração não se detém (PUENTE, 2010, p. 41). Neste caso, o tempo dos físicos é uma quantificação artificial de uma experiência real. O mapa conceitual abaixo apresenta as ideias centrais da visão bergsoniana para fins de simplificação de acordo com o autor, servindo como resumo esquemático para auxiliar na realização de atividades.

Figura 6 – Mapa conceitual da visão bergsoniana



Fonte: Próprio autor (2021)

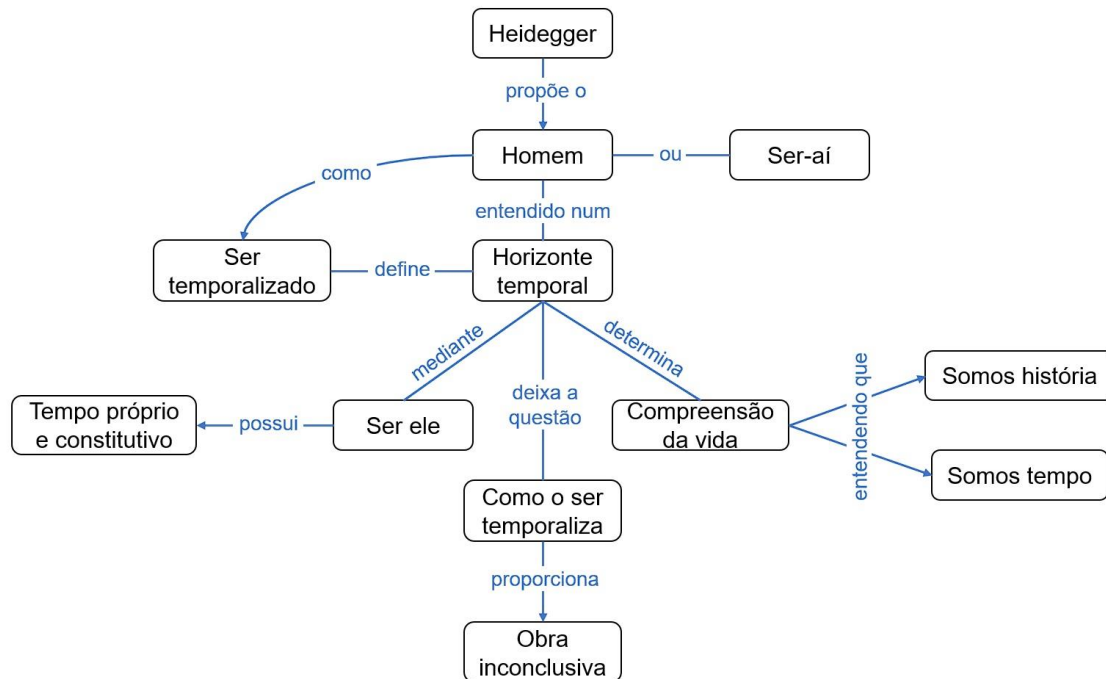
Para Martin Heidegger (1889-1976) questionar a existência do tempo não é efetivo, ele muda o objeto de estudo, ou seja, formula um novo problema e passa questionar como o próprio ser pode ser entendido num horizonte temporal. Esse modo de ser do homem constitutivamente temporal, é chamado ser-aí, para enfatizar seu caráter fático e aberto. Podemos entender nas palavras de José Reis que “A temporalidade heideggeriana se passa no domínio da consciência e quer o passado quer o futuro, embora referidos como o antes e como o depois, são referidos no presente.” (REIS, 2005), isto é, o presente é o cruzamento do futuro com o passado.

Quanto ao ser, Heidegger nos propõe compreendê-lo temporalmente, assim como a vida, ou uma partida equilibrada de um jogo ou uma história, só entendemos plenamente no horizonte do tempo (PUENTE, 2010, p. 45).

(...) compreendemos bem as declarações de Heidegger no sentido de que o Ser «é finito» e «não é Deus». Pois se tudo o que ele tem a fundar é o pensamento humano e o referido fazer, ele é relativo ao homem. Dito de outra maneira: ele é o que é necessário para haver tal pensamento e tal fazer. Mais nada. Deste modo, ele é obviamente finito, porque finito é o homem, e não é Deus. (REIS, 2005)

Enfim, a mais genuína e drástica questão filosófica, para Heidegger, é a de saber como o ser temporaliza. Isto mostra que sua obra *Ser e tempo* ficou sem conclusão. O mapa conceitual abaixo apresenta as ideias centrais da visão heideggeriana de acordo com o autor, servindo como resumo esquemático para auxiliar na realização de atividades.

Figura 7 – Mapa conceitual da visão heideggeriana



Fonte: Próprio autor (2021)

3.1 Aristóteles e o tempo

Aristóteles, de certa forma foi o primeiro destes que entra nessa história do estudo tempo, portanto, todos os outros propõem suas ideias a partir de seus pensamentos (REIS, 1999, p.144). A partir de agora viajaremos numa breve história sobre esses conceitos até os dias atuais.

Nos tantos livros escritos por ele um deles traz um questionamento muito especial sobre o tempo, o livro IV da *Física* - assim escrito - “se o tempo existe e, se sim, qual a sua natureza”. Na opinião de Platão, o tempo teria alguma ligação com o movimento dos astros, propondo uma relação estrita com o movimento. Então, seria ele o próprio movimento? Para Aristóteles, não o poderia ser por duas razões: i) existem muitos movimentos e apenas um tempo; ii) os movimentos podem ser rápidos e lentos, e para ele, o tempo é uniforme sempre e por toda parte. Sendo assim, o tempo não é o movimento, mas liga-se a ele – e continua –

(...) estando nas trevas, nada sentimos através do corpo” e, psicologicamente, “nenhum movimento se produz na alma”, “parece-nos na verdade que nenhum tempo passou; é a mesma impressão que têm, ao acordar, aqueles que, segundo a fábula, se deixaram dormir em Sardes junto dos heróis: eles ligam o instante do antes ao do depois e fundem-nos num só, fazendo desaparecer o intervalo, de vazio de sensação. (REIS, 1996)

Revelando que quando nada acontece o tempo para e perde a relação de sucessão. O que está de acordo com a visão aristotélica quando define o tempo como “O número (...) segundo o antes e o depois”, ou seja, é a valorização formal da sucessão.

Kant contraria essa ideia, dizendo “embora se possa muito bem fazer abstração dos fenômenos em relação ao tempo (...); estes podem muito bem desaparecer todos, mas o tempo (...) não pode ser suprimido”, e mais adiante diz, “isso resulta de que todos os outros conceitos pertencentes à sensibilidade, mesmo o de movimento (...), supõem algo de empírico”, deixando claro que tempo e espaço são entidades matemáticas simples e puras fornecidas por um sujeito ou propostas por uma experiência, mas não ligadas a ela, o que sugere consistência.

Refletindo sobre as ideias de Aristóteles e Kant, vemos uma contradição. Kant apresenta o tempo e o espaço como relações puras, “essências”, visto que Aristóteles acredita que uma relação se esgota em ser relação, não é o ir de uma coisa para outra, ou seja, o domínio da qualidade do vermelho o é enquanto tal é diferente de verde. Veja que, a partir da leitura de Kant se o espaço e o tempo fossem relações puras, ou relações de coisa nenhuma, uma medida poderia não ter distância, é só considerar a extensão de um corpo como seu espaço, e se não for possível preencher todo espaço com ele, o vazio que existiria deixaria de ser uma distância, pois por ser uma relação pura, ou de coisa nenhuma, não seria possível medir o espaço restante porque não há extensão para tal. Talvez, Kant, pelo hábito matemático interpretava o tempo e o espaço como relações puras, sem notar que não poderiam existir, dessa forma, sem os respectivos dados empíricos.

Faz-se necessário observar que essas primícias são de fato contestadas na Teoria da Relatividade Geral de Einstein, as medições físicas, e como, claramente Moritz Schlick escreve em seu livro “Espaço e Tempo na Física Contemporânea” que

(...) uma comparação de réguas ou uma observação de coincidências só se torna uma medição quando alguma ideia nos serve de fundamento, quando fazemos uma suposição física, ou, antes, quando encontramos uma convenção cuja escolha sempre permanece, a rigor e em última instância, arbitrária (...) (SCHLICK, 2016)

O trecho anterior serve como base para entender a importância da abstração, pois assim, o espaço vazio é um simples espaço físico e não depende da extensão de determinado corpo.

Para Aristóteles, o tempo não é algo puramente formal separado do movimento, sobre o qual desce ordenando-o, mas indissolivelmente um composto com ele. E agora podemos observar o pensamento de Newton, em seu livro “Principia”, sobre o tempo

O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração. O tempo comum aparente e relativo é uma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou irregular) que é obtida por meio de movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano. (NEWTON, 2018, p. 45)

Percebemos que Newton desconecta o tempo do espaço e o define como independente, assim descrito no trecho “O tempo absoluto, verdadeiro e matemático (...) flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa”. Observemos, que Aristóteles o vê “indissolivelmente um composto com ele”, ou seja, o tempo para Aristóteles é relativo, que possui relação com o movimento. O que faz de Newton um seguidor do pensamento platônico, contrário ao pensamento aristotélico que aprofunda a ideia de tempo e o define como “o número do movimento segundo o antes e o depois”, com referência ao passado e futuro, para ser mais exato, onde acontecimentos do passado e do futuro e, nesse caso, o passado significa memória e o futuro a previsão. Observa-se que ao analisar um movimento contínuo, o tempo é a determinação desse movimento dado o “antes”, dando-se o “agora” ou vindo a dar-se o “depois”, portanto tudo.

3.2 Isaac Newton e o tempo

Em seu livro – Principia, Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – Isaac Newton não discute o conceito de tempo, espaço, lugar ou movimento e muito menos os define, por serem termos bem conhecidos, contudo, acredita ser conveniente distingui-las entre absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e comuns.

Ele apresenta o seu ponto de vista sobre o tempo no final do subitem **3.1**, como destacado no tópico Aristóteles e o tempo. Percebe-se que ele propõe a existência do tempo diante de duas percepções, na primeira é “verdadeiro e

matemático” e “flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração”, fica claro, nesta afirmação, que o tempo de Newton tem caráter absoluto e pode ser medido. No trecho restante, é apresentado o segundo que ele chama de tempo comum aparente e relativo, sendo esta “uma medida de duração perceptível e externa” e “obtida por meio de movimento”, apresentando-o como o tempo usado em horas, dias, meses, anos. Em resumo, ele descreve uma forma de entendimento da nossa percepção sobre o tempo e o que acredita sê-lo de acordo com as características abordadas.

Apesar de colocar o tempo com caráter absoluto, não pode fugir da percepção comum aparente e relativa do tempo que ele associa ao movimento, sendo assim devemos entender a ideia de movimento e de lugar, também apresentadas no Principia. Retirado o trecho de seu livro, temos

Lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é ou absoluto ou relativo. Digo parte do espaço, e não situação, nem superfície externa do corpo. Pois os lugares de sólidos iguais são sempre iguais, mas suas superfícies, em função de suas formas diferentes, são frequentemente desiguais. As posições propriamente não têm quantidade, e nem são os próprios lugares, mas antes propriedades dos lugares. O movimento do todo é o mesmo que a soma dos movimentos das partes; isto é, a translação do todo, de seu lugar, é a mesma que a soma das translações das partes para fora de seus lugares; e, portanto, o lugar do todo é o mesmo que a soma dos lugares das partes, e por essa razão, é interno e está em todo o corpo. (NEWTON, 2018, p. 45)

Newton apresenta por primeiro a ideia de lugar, pois é necessária no entendimento de movimento. Visto isso, note que também introduz a característica absoluta e relativa ao espaço, e se preocupa com a forma (interno) do corpo em relação com o espaço que ocupa. Propondo de forma clara que “lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa”.

Novamente, Newton propõe a ideia de movimento também absoluta e relativa

Movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro; e movimento relativo, a translação de um lugar relativo para outro. Assim, em um navio que está navegando, o lugar relativo de um corpo é aquela parte do navio que o corpo ocupa; ou aquela parte da cavidade que o corpo preenche, e que, portanto, move-se junto com o navio; repouso relativo é a permanência do corpo naquela mesma parte do navio ou de sua cavidade. Mas repouso real, absoluto, é a permanência do corpo na mesma parte daquele espaço imóvel, no qual o próprio navio, sua cavidade e tudo o que ele contém, se move. (...) (NEWTON, 2018, p. 45)

Agora podemos retornar com a ideia de tempo comum aparente e relativo, porque de acordo com Newton esse tempo é obtido por meio do movimento. Sendo este, absoluto e relativo se a translação respectiva for de um lugar absoluto ao outro ou de um lugar relativo ao outro, respectivamente. Pois, da forma que a ordem das partes do tempo é imutável assim também o é a ordem das partes do espaço, que justifica pensar que “todas as coisas são colocadas no tempo de acordo com uma ordem de sucessão; e no espaço, de acordo com uma ordem de situação”, ou seja, como Moritz brilhantemente resume, em Espaço e Tempo na Física Contemporânea, “(...) Tempo e espaço eram, por assim dizer, considerados como recipientes que continham em si aquele substrato e forneciam sistemas de referência fixos (...)” (SCHLICK, 2016).

O que torna todas essas considerações assustadoras é que Newton observou não ter como observarmos um movimento absoluto pelos nossos sentidos, mas podemos argumentar através de movimentos aparentes, pois, eles são as diferenças dos movimentos verdadeiros, e propõe que as forças são as causas e efeitos dos movimentos verdadeiros. Dessa forma, a existência do repouso e movimento relativo é a única chance de assumir a existência de um repouso e movimento absoluto. Interessante observação feita por Florian Cajori em 1934, quando escreve o “Apêndice Histórico e Explicativo” do livro Principia, sintetiza a problemática de movimento absoluto, agora tratado, como movimento retilíneo absoluto e tempo absoluto sendo “postulados da mecânica newtoniana, pois, não são baseados em evidência experimental e, assim, podem ser encarados como metafísicos” (NEWTON, 2018).

3.3 A eletrodinâmica dos corpos em movimento e o éter

Antes de descrever a reinterpretação sobre o tempo de Einstein, será brevemente incluída a grande descoberta de Faraday por ser um trabalho importante para o nascimento da Teoria da Relatividade como claramente exposto no artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física por Jurgen Renn (RENN, 2004) e observado por Florian Cajori no apêndice escrito em 1934 para o Principia.

A descoberta mais notável de Faraday aconteceu em 1831, ao mover um ímã em relação a espiras de fio e pode perceber que uma corrente elétrica foi induzida nelas, esse fenômeno é chamado de indução eletromagnética. Também descoberto quase ao mesmo tempo por

Joseph Henry. Este fenômeno deu início à era da eletricidade, que por sua vez, entende-se que a voltagem é induzida pelo movimento relativo entre um fio e um campo magnético. (NEWTON, 2018)

As pesquisas de Faraday e Maxwell, no século XIX, sobre o eletromagnetismo levaram a conclusões experimentais que apenas poderiam ser explicados através do comportamento no movimento relativo. De acordo com o que foi escrito, anteriormente, o fenômeno de indução eletromagnética funciona, unicamente, a partir do movimento relativo da espira em relação ao ímã. Retornando aos questionamentos de Newton. “A velocidade desse ímã pode ser considerada absoluta?”. O “movimento absoluto” apresentado no subitem anterior, “é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro”, e lembrando que, “lugar” é absoluto quando o “espaço” é absoluto e o “espaço absoluto” existe “por sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa”. Vide agora, que um ímã em movimento absoluto, ou seja, “sem relação com qualquer coisa externa”, nem mesmo uma espira, não poderia gerar corrente elétrica. Observe que a mesma situação ocorreria, caso fosse uma partícula carregada em movimento absoluto. Muitos argumentos colocavam à prova a ideia de “movimento absoluto”, entretanto, esse movimento ainda não poderia ser desfeito da Física, visto o grande número de problemas que eram solucionados por esse conceito além de fundamentar a teoria de Newton.

A partir de agora nos transportaremos para o momento histórico do experimento de Michelson e Morley, porque dele foi fornecida a primeira concepção da formulação relativística ou da teoria da relatividade. Antigamente, era aceito a compreensão de que as ondas eletromagnéticas fossem mudanças de estado, que se propagam em forma de onda, de uma substância que preenche, sem lacunas, todos os espaços vazios, até mesmo os interstícios entre as menores partículas dos corpos materiais, e que ganhou o nome de “éter”. Diante disso, a luz se propagaria relativamente ao éter com velocidade c medido a partir de um referencial fixo no éter. Devido a esse comportamento, o fenômeno de aberração da luz poderia ser explicado de uma única forma, que o éter não compartilha o movimento dos corpos que nele estão, pelo contrário, ele desliza por entre todos os corpos. Dessa maneira, o éter não participa de movimento algum, então, fixando-se um sistema de coordenadas nele

apresentar-se-ia em “repouso absoluto” o que tornaria o “movimento absoluto” ter sentido físico.

Todas essas relações apresentadas nos levam a refletir que se existe um éter, ele representa um referencial privilegiado, visto isso, deve-se destacar de todos os outros. Foi nesse momento que o experimento de Michelson e Morley foi produzido, e para época não teria dificuldade para fazer essas medidas precisas, mas o resultado surpreendente foi que o éter não foi perceptível de forma alguma.

3.4 Einstein e o tempo

Teoria da Relatividade Restrita ou Especial

O experimento de Michelson e Morley prova que a luz se propaga em todas as direções com a mesma velocidade, provando que o “movimento absoluto”, ou melhor, o movimento retilíneo uniforme “absoluto” não pode ser constatado, da mesma forma, que Newton afirmava “não ter como observarmos um movimento absoluto pelos nossos sentidos”. Vale ressaltar que Einstein afirmou que a experiência de Michelson e Morley não foi importante para formular a Teoria da Relatividade Restrita. A experiência, apresenta uma proposição empírica que chamamos de Princípio da Relatividade “Restrita”, assim enunciado

Todas as leis da natureza formuladas com referência a determinado sistema de coordenadas continuam válidas, exatamente da mesma forma, quando referidas a outro sistema de coordenadas que se movimenta retilínea e uniformemente em relação ao primeiro. (SCHLICK, 2016)

O maior problema é que este princípio contradiz claramente o fenômeno de propagação da luz que até então funcionava muito bem, nesse momento os físicos se voltaram a resolver a contradição fundamental. Essa contradição levou Einstein a analisar a fundo o problema de indução eletromagnética e perceber que o problema estava relacionado aos referenciais (EINSTEIN, 2020). Em resumo, entendemos que as leis da natureza são válidas para todo referencial, então quer dizer que a luz no vácuo pode ter diferentes valores, como conhecido na mecânica clássica os problemas de dois móveis na mesma direção e sentido, mas poderíamos sugerir um foguete no espaço emitindo um feixe de luz, para um observador dentro do foguete a velocidade verificada por esse princípio seria,

$$v_{observador} = c - v_{fogete}$$

Este resultado não está de acordo com o experimento de Michelson e Morley e, portanto, contradiz o fenômeno da propagação da luz (Princípio de Constância da Velocidade da Luz). Nesse momento, houve várias tentativas para explicar a contradição fundamental das quais destacamos a velha “Teoria de Emissão” da luz por Newton (primeira possível solução) e a Teoria de Ritz, mas sem sucesso. E, toda essa crise, se justificava diante de duas situações ou as equações de Maxwell estão erradas e deveríamos abandonar ou a mecânica newtoniana estava errada e deveríamos abandonar. A segunda solução possível foi feita por H. A. Lorentz e Fitzgerald na tentativa de salvar o éter, propondo que a invariância da velocidade da luz numa determinada situação é apenas aparente. Sendo assim, supuseram que os corpos que se movem em relação ao éter sofrem na direção do movimento, uma redução na ordem de

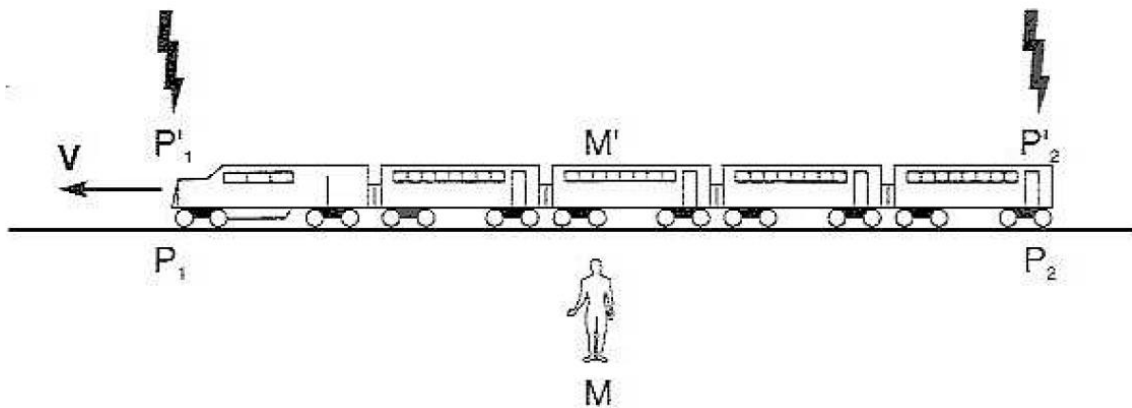
$$\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

em seu comprimento. E, dessa forma, o efeito do movimento absoluto seria então anulado precisamente pelo efeito dessa “contração de Lorentz”. Neste momento, entra em cena a Teoria da Relatividade modificando os conceitos físicos de tempo e espaço demonstrando que não há incompatibilidade entre o princípio da relatividade e o princípio de invariância da velocidade da luz.

3.4.1 A relatividade da simultaneidade

Einstein mostrou-se nada óbvio quando postulou que a luz permanece com a velocidade de propagação c em dois sistemas arbitrários e possuem valores distintos de espaço e tempo um em relação ao outro. O comportamento para eventos simultâneos sempre foi proposto numa situação pelo qual ambos ocorrem ao mesmo tempo, de certo, um conceito só é válido quando pode-se verificar, ilusão seria afirmar a simultaneidade ao poder de veracidade dos sentidos. Para Einstein, quando duas fontes de luz emitem dois feixes se encontrando na metade do caminho, entre elas, esse evento é denominado como simultâneo, pois a luz percorrerá as duas metades ao mesmo tempo, o que para ele era apenas uma estipulação para chegar na definição da simultaneidade, ver Figura 8.

Figura 8 – Relatividade da simultaneidade



Fonte: NUSSENSVEIG (2010)

Nesta estipulação, Einstein desenvolve o problema do trem com o auxílio de dois referenciais. Para o referencial no leito da estrada (pontos P_1 e P_2), os eventos seriam simultâneos para um observador que estivesse na metade do caminho (ponto M), ou seja, a luz se encontraria no meio do caminho e ao mesmo tempo. Observe a situação de um observador do trem agora (ponto M'), nesse caso, a fonte de luz da qual o trem se aproxima chegará primeiro no observador. Podemos, então, concluir que os eventos são simultâneos para o observador no leito e não o são para o observador no trem, ou seja, cada referencial possui seu tempo próprio. Este resultado contraria a ideia de tempo absoluto de Isaac Newton como já foi visto, porque deixa claro que o estado do movimento está relacionado com o tempo, simplesmente por não estar compatível com a definição “tão natural de simultaneidade” como o próprio Einstein escreve. Além disso, observa que se a luz tivesse velocidade infinita os eventos distantes aconteceriam simultaneamente para os dois referenciais, contudo, a velocidade é finita e requeria outra interpretação. Sendo assim, a finitude da velocidade da luz representa que se dois eventos são simultâneos para um determinado referencial não precisa ser para outros. Desse momento em diante, a incompatibilidade entre o princípio da relatividade e o princípio da invariância da luz desaparece, porque não há uma invariância aparente da luz e não é uma suposição a contração de um corpo em relação ao éter, simplesmente existe uma contração do espaço sem a necessidade de incluir o éter para justificar tal ação como fez Lorentz e Poincaré (ROVELLI, 2018, p. 166).

3.4.2 O espaço segundo Einstein

A teoria relatividade representa uma mudança na física como também em outros campos da ciência em geral. “A ciência moderna se afasta da concepção de verdade “absoluta” e segura. O caminho agora, parece ser entender que um conceito só tem significado em relação a formas de referência adequadas e mais amplas.” (BOHM, 2015).

Einstein mostra essa preocupação ao refletir sobre a geometria, construída em axiomas dos quais aceitamos como verdades absolutas. Assim, a reta, por exemplo, definida, por ele, como “dois pontos de um corpo praticamente rígido sempre corresponde a mesma distância quaisquer que sejam as mudanças de posição a que o corpo seja submetido, então as proposições da geometria euclidiana passam a ser proposições sobre a possível posição relativa de corpos praticamente rígidos”. Dessa forma, a geometria poderia ser tratada como um ramo da física.

Para Einstein,

(...) toda descrição de eventos o espaço necessita de um corpo rígido com o qual os eventos são espacialmente relacionados. Toda e qualquer relação pressupõe que, para os “segmentos de reta”, valem as leis da geometria euclidiana, sendo o “segmento” representado por duas marcas sobre um corpo rígido. (EINSTEIN, 2017)

A corpo rígido entende-se como uma régua ou um compasso entre outras ferramentas de medição. Tal construção evidencia que nossa experiência cotidiana é superficial e errônea, em muitos casos. A relatividade se mostra como uma teoria que mais se aproxima da nossa percepção nos dando algo como uma “significação intuitiva imediata” (BOHM, 2015), visto que o pensamento físico, em geral, está imbuído da intuição e da matemática.

Dessa forma, de acordo com o que se compreendia na época, tanto o princípio de relatividade restrito quanto o princípio de invariância da velocidade da luz são experimentalmente verificados, portanto, ambos devem ser aceitos como leis reais da natureza.

3.4.3 Transformação de Galileu

Esta transformação é uma relação entre dois referenciais com velocidade constante, onde um está em repouso (referencial K) e o outro está

em movimento retilíneo uniforme (referencial K'), construído com a ideia platônica de que o tempo é absoluto,

$$t' = t \quad (1)$$

onde t é o tempo num referencial em repouso e t' o tempo num referencial em MRU, dessa forma, as respectivas posições de um referencial em relação ao outro pode ser escrito assim,

$$x' = x - Vt. \quad (2)$$

Para x a posição de um corpo no referencial em repouso, x' a posição de um corpo no referencial em MRU e V a velocidade do referencial (MRU) em relação ao outro.

Propondo a Lei de Galileu de composição de velocidades, encontrada pela derivada da equação (2)

$$\frac{d(x')}{dt'} = \frac{d(x)}{dt} - \frac{d(Vt)}{dt}$$

dado que $t' = t$, temos

$$v' = v - V \quad (3)$$

como se fosse o problema de velocidade relativa com dois corpos na mesma direção e sentido. Perceba que se os referenciais tivessem velocidades iguais a da luz c , isso contrariaria a eletrodinâmica de Maxwell, pois permitiria que os referenciais observassem velocidades da luz diferentes.

$$c' \neq c. \quad (4)$$

Dessa forma, podemos observar pelo Princípio da Relatividade da Mecânica, proposto primeiramente por Galileu, que é impossível detectar um movimento retilíneo uniforme de um referencial em relação a outro por qualquer efeito sobre as leis da dinâmica, visto que, os sistemas não possuem aceleração. Podemos, então, derivar a relação (3) e notar que não existe uma aceleração relativa entre os referenciais

$$\frac{d(v')}{dt'} = \frac{d(v)}{dt} - \frac{d(V)}{dt}$$

observando que V é uma velocidade constante

$$\begin{aligned} \frac{dv'}{dt'} &= \frac{dv}{dt} \\ a' &= a. \end{aligned} \quad (5)$$

Este resultado indica a impossibilidade de diferenciarmos um fenômeno físico dado um referencial em repouso para um referencial em movimento retilíneo uniforme.

3.4.4 Transformação de Lorentz

Essa transformação corrige o comportamento da transformação de Galileu, pois apresenta a mecânica newtoniana como uma excelente aproximação da realidade física (Física clássica). Esta apresenta de forma clara que o caráter absoluto da transformação galileana só seria verdade se os eventos ocorressem de forma instantânea, o que não é verdade.

Inicialmente, a transformação de Lorentz tinha sua existência conectada ao “éter”, que por sua vez, entendia-se, preencheria todos os espaços do universo e seria o transportador da luz e dos fenômenos eletromagnéticos. Lorentz sugeriu uma explicação para o experimento de Michelson-Morley, do qual comprovava a invariância da luz em relação ao movimento da Terra, propondo que o corpo que se movia deformava-se, dependendo do sentido movimento, na tentativa infeliz de justificar o porquê não foi possível detectar uma diferença de velocidade na experiência.

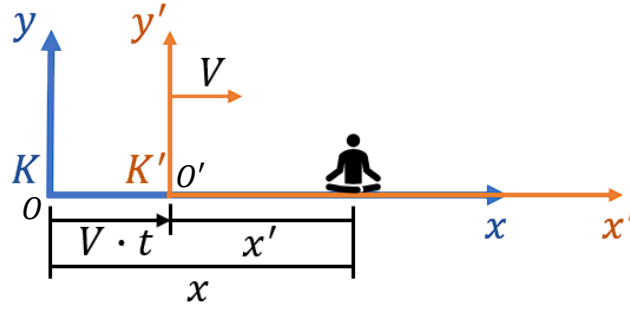
Esta transformação existe pela simultaneidade de eventos em lugares diferentes não ter caráter absoluto, isso implica que dois ou mais eventos podem ser simultâneos em relação a um referencial, mas não significa que estará em relação todos.

Para A. H. Lorentz,

Percebe-se que para eventos distantes o tempo perde seu caráter absoluto ($t = t'$), porque um evento pode ser simultâneo em relação a K , e não, a K' . O que permite a substituição, antes de um sistema apenas espacial, para um sistema espaçotemporal, pois o tempo também se modificou ao espaço. (LORENTZ, 2018)

O que corrobora com a afirmação de Einstein, de que “Fenômenos eletromagnéticos e mecânicos não têm propriedades compatíveis com a ideia de repouso absoluto” (EINSTEIN, 2020). Portanto, o problema é: quais são os valores x' , y' , z' e t' de um evento em relação a K' , quando são dadas as grandezas x , y , z e t deste mesmo evento em relação a K ?

Figura 9 – Dois referenciais inerciais K e K' com velocidade relativa V



Fonte: Próprio autor (2021)

Foram considerados, na figura acima, apenas os eixos x e y por critérios de simplificação. A transformação de Lorentz deve satisfazer as seguintes condições:

- i) Um movimento deve ser retilíneo em relação aos dois referenciais propostos, chamados de K (referencial em repouso) e K' (referencial em MRU);
- ii) Para $V = 0$, a transformação (Galileu) deve reduzir-se para $v = v'$;
- iii) Se um sinal luminoso é enviado de $O \equiv O'$ (Figura 9) em $t = t' = 0$ sua frente de onda deve propagar-se com velocidade c em ambos os referenciais, de modo que,

$$d = ct \Leftrightarrow d' = ct'. \quad (6)$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \Leftrightarrow x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad (7)$$

Para facilitar será analisado o movimento no eixo x , e quando necessário, simplesmente, generalizaremos para o movimento tridimensional sem que haja perda do significado físico. Faz-se necessário que este comportamento satisfaça uma transformação linear da equação (2) e que t' também tenha dependência linear de t e x , sendo assim,

$$x' = A(x - Vt) \quad (8)$$

e

$$t' = Bt + Cx. \quad (9)$$

Dadas algumas manipulações algébricas e que não existe referencial absoluto, adotando a análise do movimento a partir do referencial em movimento (K'). A relação (8) pode ser modificada e escrita assim,

$$x = A'(x' + Vt') \quad (10)$$

e, considerando que a isotropia do espaço foi mantida, ou seja, o espaço é uniforme e homogêneo em qualquer direção observada

$$A = A' \quad (11)$$

temos pelas relações (8), (10) e (11),

$$x - Ax' = AVt' \quad (12)$$

$$x - A[A(x - Vt)] = Vt'A \quad (13)$$

$$t' = At + \left[\frac{(1 - A^2)}{AV} \right] x \quad (14)$$

Agora, comparando a equação (9) com a (14)

$$A = B \quad (15)$$

e

$$C = \frac{(1 - A^2)}{AV} \quad (16)$$

Reescrevendo a relação (6) em relação ao eixo x , substituindo na eq. (8) e combinando com a equação (14), encontramos a constante A

$$x = ct \text{ e } x' = ct' \quad (17)$$

$$ct' = A(ct - Vt)$$

$$At + \frac{(1 - A^2)}{AV} x = At - \frac{V}{c} At$$

$$\frac{(1 - A^2)}{AV} ct = -\frac{V}{c} At$$

$$1 - A^2 = -\frac{V^2 A^2}{c^2}$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad (18)$$

Einstein explica a relação acima no trecho seguinte

“(...) Do ponto de vista físico, interpretava-se este resultado considerando K como estando em repouso em relação a um hipotético éter. Todos os demais sistemas de coordenadas K' que se movem em relação a K estariam em movimento em relação ao éter. A este movimento de K' em relação ao éter (“vento de éter” relativo a K') era atribuída a maior complicação das leis que deveriam valer em relação a K' .” (EINSTEIN, 2017)

Combinando as equações (10) e (18), obtemos

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad (19)$$

e propondo uma régua de comprimento igual a 1 m no referencial K' , onde $x'_1 = 0$ e $x'_2 = 1$ em $t' = 0$, nota-se que a régua não teria a mesma medida no

referencial K dado o valor da constante A que, a partir de agora, será denominado fator Lorentz e representado pela letra γ

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad (20)$$

Para analisar o fator de Lorentz mais facilmente, temos

$$\beta = \frac{V}{c} \quad (21)$$

e assim,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (22)$$

Analisando mais profundamente o fator de Lorentz observamos que a transformação de Galileu é um caso limite para $\beta \ll 1$, assistido pela série de Maclaurin ou teorema binomial, aqui será aplicado o último mencionado

$$(1 + x)^m = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m(m-1)(m-2) \cdot \dots \cdot (m-n+1)}{n!} x^n, |x| < 1 \quad (23)$$

Assim, o fator de Lorentz resulta em

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} \approx 1 + \frac{\beta^2}{2} \quad (24)$$

Percebe-se que para β muito pequeno, ou seja, $v \ll c$, a relação se reduz a $\gamma = 1$, satisfazendo a transformação de Galileu como na equação (2). Também é interessante considerar que $c \rightarrow \infty$, ou melhor, propor a “existências de sinais “instantâneos”, de velocidade infinita, dessa forma a simultaneidade de eventos distantes teria caráter absoluto e valeria a transformação de Galileu.”. (NUSSENZVEIG, 1998)

De outra forma, também é possível perceber, pelo fator de Lorentz, que a velocidade da luz c é uma velocidade-limite

“(...) na Teoria da Relatividade, a velocidade c desempenha o papel de uma velocidade-limite, que não pode ser alcançada e muito menos ultrapassada por nenhum corpo real.” (EINSTEIN, 2017)

Esse facilmente alcançado propondo-se que a velocidade relativa seja maior que a velocidade da luz, $V > c$ ou $\beta > 1$,

$$1 - \beta^2 < 0 \quad (25)$$

isto é, para velocidades maiores a raiz seria imaginária. Feito isso, é possível expressar a equação (8) em função do fator de Lorentz

$$x' = \gamma(x - Vt) \quad (26)$$

e vislumbrar que a régua de 1 m, mencionada anteriormente e medida no referencial K' , não terá o mesmo comprimento se medido no referencial K , visto que

$$\gamma < 1. \quad (27)$$

Da mesma forma, os tempos nos referencias K e K' também se comportam distintamente observada a equação $t' = Bt + Cx$ dado que $A = B = \gamma$ e $C = (1 - A^2)/AV$, temos

$$\begin{aligned} t' &= \gamma t + \left(\frac{1 - \gamma^2}{\gamma V} \right) x \\ t' &= \gamma \left[t + \left(\frac{1 - \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{\frac{V}{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \right) x \right] \\ t' &= \gamma \left[t + \left(\frac{-\frac{V^2}{c^2}}{V} \right) x \right] \\ t' &= \gamma \left(t - \frac{V}{c^2} x \right) \end{aligned} \quad (28)$$

Assim como a posição, dado o valor de $\gamma < 1$, os tempos são distintos de acordo com a observância do evento nos referenciais K e K' . Constata-se a transformação de Lorentz, como

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - Vt) \\ t' = \gamma \left(t - \frac{V}{c^2} x \right) \end{cases} \quad (29)$$

Para,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (30)$$

e

$$\beta = \frac{V}{c} \quad (31)$$

onde β e γ são relações que evidenciam o caráter relativístico do tempo e do espaço.

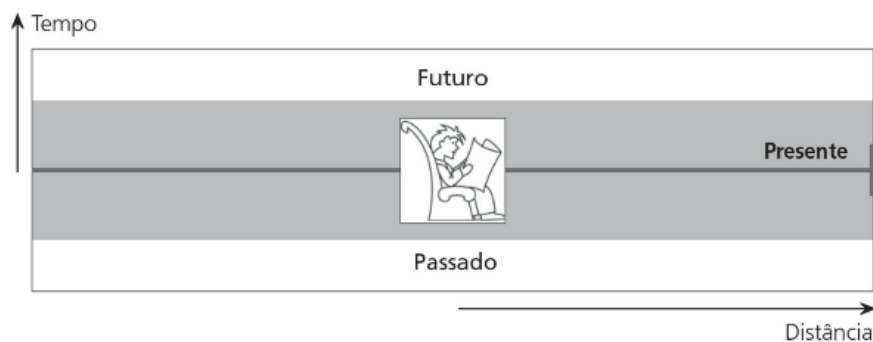
3.5 Efeitos cinemáticos da Transformação de Lorentz

É indubitável que podemos extrair das equações de Lorentz algumas informações sobre o comportamento de réguas e relógios.

Todo o sistema de Galileu-Newton, portanto, se reduz ao nível de uma primeira aproximação, tornando-se progressivamente menos exato à medida que as velocidades em consideração se aproximam da velocidade da luz. (LORENTZ, 2018)

Para ficar mais claro, a concepção de passado, presente e futuro conhecida antes de Einstein está de acordo com a ilustração a seguir indicando que entre o passado e o futuro o presente ocorre de forma instantânea, ou melhor, todo evento ocorrido é instantaneamente simultâneo a sua percepção, sem duração.

Figura 10 – Espaço e tempo antes de Einstein



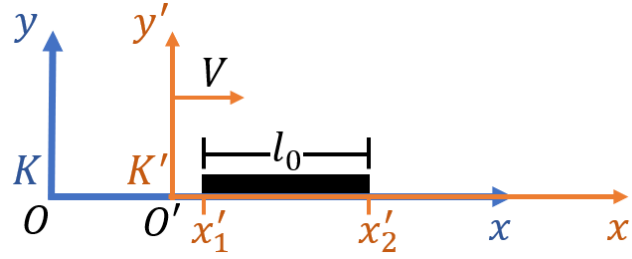
Fonte: ROVELLI (2017)

Ao final deste tópico veremos que a figura acima está errada e compreenderemos, de fato, a Teoria da Relatividade Restrita.

3.5.1 Contração do espaço

Para notarmos tal efeito propomos uma barra deitada no eixo x do plano cartesiano no referencial K'

Figura 11 – Barra medida no referencial K'



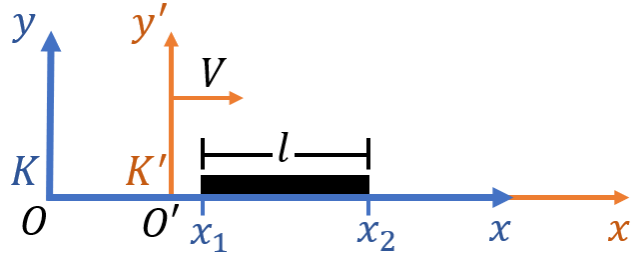
Fonte: Próprio autor (2021)

Medindo a barra dados seus extremos coincidindo com as posições x'_1 e x'_2 , temos

$$l_0 = x'_2 - x'_1 \quad (32)$$

Fazendo o mesmo, a partir do referencial K

Figura 12 – Barra medida no referencial K



Fonte: Próprio autor (2021)

obtemos,

$$l = x_2 - x_1 \quad (33)$$

Aplicando convenientemente a transformação de Lorentz com a equação (26) em relação ao referencial K'

$$\begin{aligned} l_0 &= x'_2 - x'_1 \\ l_0 &= \gamma(x_2 - Vt) - \gamma(x_1 - Vt) \\ l_0 &= \gamma(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (34)$$

substituindo a equação (33) na (34), temos

$$l_0 = \gamma l \quad (35)$$

A equação encontrada é denominada contração de Lorentz-Fitzgerald, onde l_0 é o comprimento próprio medido no referencial onde o objeto está em repouso, nesse caso K' , e l o comprimento medido no referencial em movimento, nesse caso K , portanto, o comprimento da barra em movimento é menor que seu comprimento próprio, o que justifica o termo contração. Desta maneira, conclui-se que a contração de Lorentz

“(...) não aparece mais como o efeito da influência física de um “movimento absoluto”, como foi o caso para Lorentz e Fitzgerald, mas simplesmente como consequência de nossos métodos de medição de comprimentos e tempos.” (SCHLICK, 2016, p. 26)

3.5.2 Dilatação do tempo

Assim como descrito anteriormente por Schlick o tempo também sofrerá um efeito, contudo, este terá uma dilatação. Agora, considere um relógio em repouso em K' na origem $O'(x' = 0)$. Este tempo t' marcado por ele será chamado tempo próprio. Como antes, convenientemente usaremos a equação (28) da transformação de Lorentz

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

e, por necessidade, definiremos a transformação inversa de Lorentz para o tempo sendo

$$t = \gamma' \left(t' + \frac{V}{c^2} x' \right) \quad (36)$$

Alguns conceitos precisam ser apresentados antes da relação final, como a substituição da velocidade

$$V \rightarrow -V \quad (37)$$

que significa o referencial K se mover em relação ao referencial K' , o inverso do proposto inicialmente como evidente nas figuras (9), (11) ou (12).

O fator de Lorentz não sofre alteração na inversão visto o valor de β ser um termo quadrático

$$\gamma = \gamma'. \quad (38)$$

A partir das relações (37), (38) e da condição inicial do relógio na origem do referencial K' a equação (36) resulta

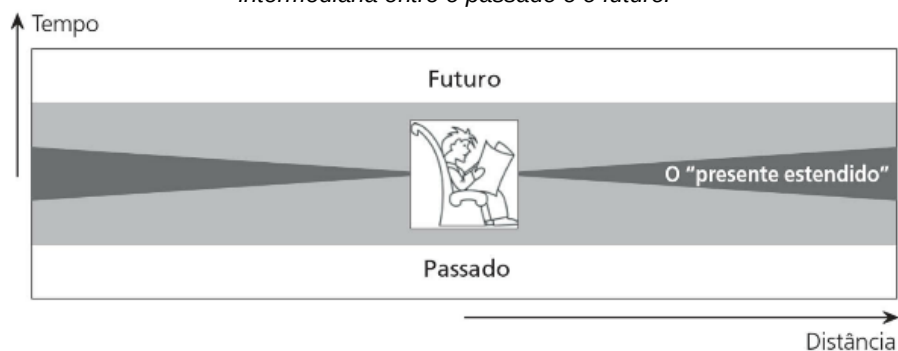
$$\begin{aligned} t &= \gamma \left(t' - \frac{V}{c^2} \cdot 0 \right) \\ t &= \gamma t' \end{aligned} \quad (39)$$

ou melhor,

$$t' = \frac{t}{\gamma} \quad (40)$$

A equação encontrada é o efeito da dilatação do tempo visto que t' é o tempo medido no referencial onde o relógio está em repouso e t é o tempo medido no referencial onde o relógio está em movimento o que comprova o termo dilatação.

Figura 13 – A estrutura do “espaço-tempo”. Para cada observador, o “presente estendido” é a zona intermediária entre o passado e o futuro.



Fonte: ROVELLI (2017)

Brilantemente, Carlo Rovelli exprime em poucas palavras o que é a Teoria da Relatividade Restrita

Entre o passado e o futuro de cada evento (por exemplo, entre o passado e o futuro para você, no lugar onde você está, e no preciso momento em que está lendo agora), existe uma “zona intermediária”, um “presente estendido” daquele evento, uma zona que não é nem passada nem futura. Esta é a teoria da relatividade restrita. (ROVELLI, 2017, p. 73)

A simultaneidade à distância se revela nessa “zona intermediária” que não é um passado e nem um futuro, mas um “presente estendido”. Uma pequena zona que depende da distância, porquanto, mais distante mais longa é sua duração e quanto mais próximo mais curto será esse presente. Ou resumidamente como Lorentz explicita “(...) foi necessário, a propósito, abandonar o tempo universal e substituí-lo por tempos locais relacionados aos corpos em movimento e variando de acordo com seu movimento.”.

Tanto Bergson quanto Heidegger assumem a posição da imanência, uma espécie de reflexão sobre a realidade material, uma busca pela temporalidade e finitude. Bergson radicaliza a filosofia da época ao pensar na *duração*, ou seja, associa a *duração* à *própria consciência criando um laço restrito com a memória*, visto isso, entende-se pela Teoria da Relatividade Restrita que não percebemos os eventos próximos de nós porque *duram* pouco e não somos mentalmente rápidos o bastante para notá-los (ROVELLI, 2017, p.73) e, aos eventos distantes problema que origina a Teoria da Relatividade Restrita e estrutura o que a física chama espaço-tempo não é passado e nem futuro, também não é um instante, mas tem *duração* (ROVELLI, 2017, p.74). De fato, a duração de Bergson não é a mesma de Einstein, mas é importante notar como os dois analisaram a *duração* dos eventos para entender o tempo no caso

de Bergson e para Einstein a estrutura espaço-temporal. Heidegger também radicaliza na sua reflexão sobre o tempo, questionando a natureza do homem como um ser constitutivamente temporal o distanciando da questão da natureza do tempo, contudo, pensar em como o homem faz para temporalizar o levou a entender que o homem possui um *tempo próprio*, novamente, como antes, não é o *tempo próprio* de Einstein aquele tempo medido no referencial em repouso, entretanto, oportunamente interliga-se a ele quando percebemos que não existe “(...) “simultaneidade absoluta”, ou seja, não existe um conjunto de eventos no Universo que sejam todos existentes “agora”” (ROVELLI, 2017, p.74), da mesma forma que Fernando Rey Puentes resume a temporalização do ser de Heidegger

(...) a de saber como o ser se articula em uma constelação temporal e como devemos compreender essa temporeidade específica do próprio ser. Esse entrelaçamento complexo de sentidos e essa torção sintática e gramatical caracterizam as derradeiras reflexões filosóficas. (PUENTE, 2010, p. 46)

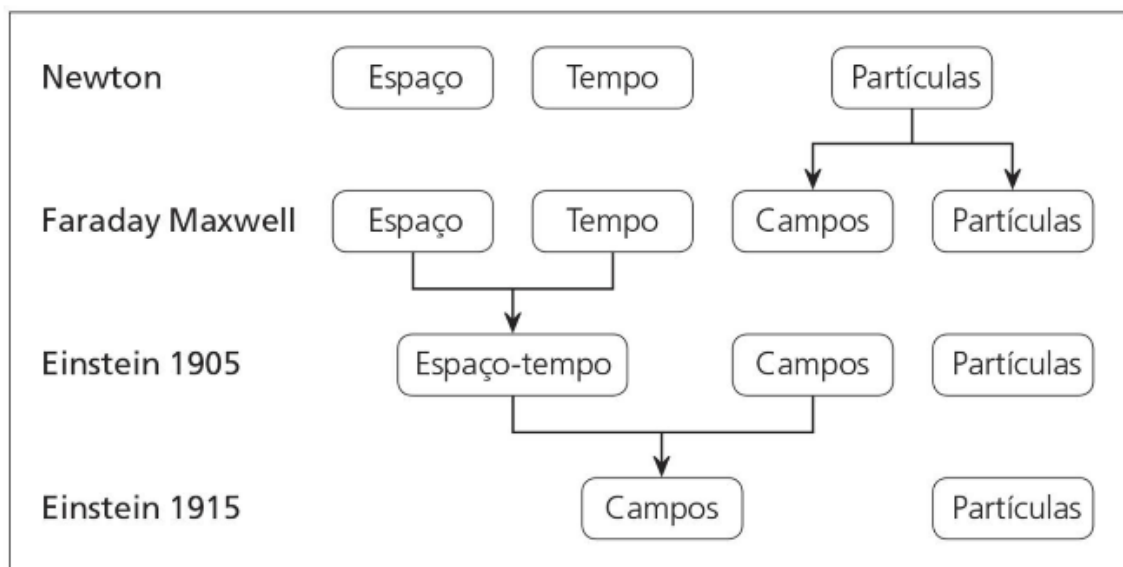
3.5.3 Consequências diretas da Teoria da Relatividade Restrita

A Teoria da Relatividade Restrita (TRR) funde o conceito de espaço e o de tempo para apenas um conceito de espaço-tempo que está explicitamente claro ao observar as equações da transformação de Lorentz. Seu desenvolvimento é o começo da intrincada Teoria da Relatividade Geral (TRG), inicialmente a TRR mostrava unicamente uma relação com o movimento como expresso a seguir

Se esses são realmente relativos, sem exceção, então sistemas de coordenadas que se movimentem uns em relação aos outros de forma completamente arbitrária estão igualmente justificados, e o espaço perde sua objetividade na medida em que não é possível definir qualquer movimento ou aceleração por referência a ele. (SCHLICK, 2016, p. 59)

No entanto, “a Teoria da Relatividade Geral, as propriedades geométricas do espaço não são independentes da matéria, mas são por ela condicionadas (EINSTEIN, 2017, p. 92)”. Isso não significa que a TRR foi substituída, mas sim absorvida pela TRG, na verdade, Einstein unifica o conceito de espaço-tempo apresentado na TRR e de campos desenvolvida por Faraday e Maxwell, ver Figura 13.

Figura 14 – Do que é feito o mundo?



Fonte: ROVELLI (2017)

De acordo com a figura acima a noção de espaço e tempo de Newton é precisamente o campo gravitacional. Mesmo assim, a física newtoniana não conseguiu explicar três problemas que foram determinantes para expor as limitações de sua teoria em relação a teoria de Einstein, são eles:

- 1) O periélio de mercúrio;
- 2) A deflexão da luz na proximidade de uma grande massa;
- 3) O desvio para o vermelho nas linhas do espectro sob o efeito de um campo gravitacional.

O primeiro deles foi explicado pelo próprio Einstein e era sua única verificação experimental, o segundo foi comprovado experimentalmente no Brasil na cidade de Sobral, no Ceará, em 29 de maio de 1919 e o terceiro apenas comprovado em 2011, com 99% de grau de precisão, por Wojtak, Hansen e Hjorth (WOJTAK, 2011). É indubitável que a TRG é uma teoria simples e bela, na opinião de muitos físicos como Lorentz e Rovelli, o avanço que Einstein alcançou segundo Lorentz (LORENTZ, 2018) da pura teoria fez da Física mais filosófica.

Capítulo 4

O produto educacional

Este capítulo apresenta as etapas de elaboração e aplicação de aulas sequenciadas com as instruções necessárias para a elaboração do projeto como descrito no Apêndice D. Aqui serão abordadas a visão geral, os materiais e equipamentos, recursos áudio visuais e uma proposta de UEPS juntamente com os mapas conceituais para uma abordagem teórica do tempo até a Teoria da Relatividade Restrita.

O produto propõe ensinar a Teoria da Relatividade Restrita resgatando os pensadores e os físicos que na visão do autor, de certa forma, influenciaram ou fizeram parte do que se entende sobre o tempo. Revelando aos alunos a evolução do pensamento humano no ponto de vista filosófico e físico sobre o tempo esperando que auxilie na compreensão da teoria.

Na parte materiais e equipamentos, será disponibilizado questões de vestibulares sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Em recursos áudio visuais é proposto a utilização de internet para visualizar animações ou simulações. E, por fim, uma UEPS que visa trabalhar com mapas conceituais desenvolvidos pelo autor para auxiliar nas atividades, com o intuito de observar como podem contribuir para o aprendizado.

4.1 Visão geral

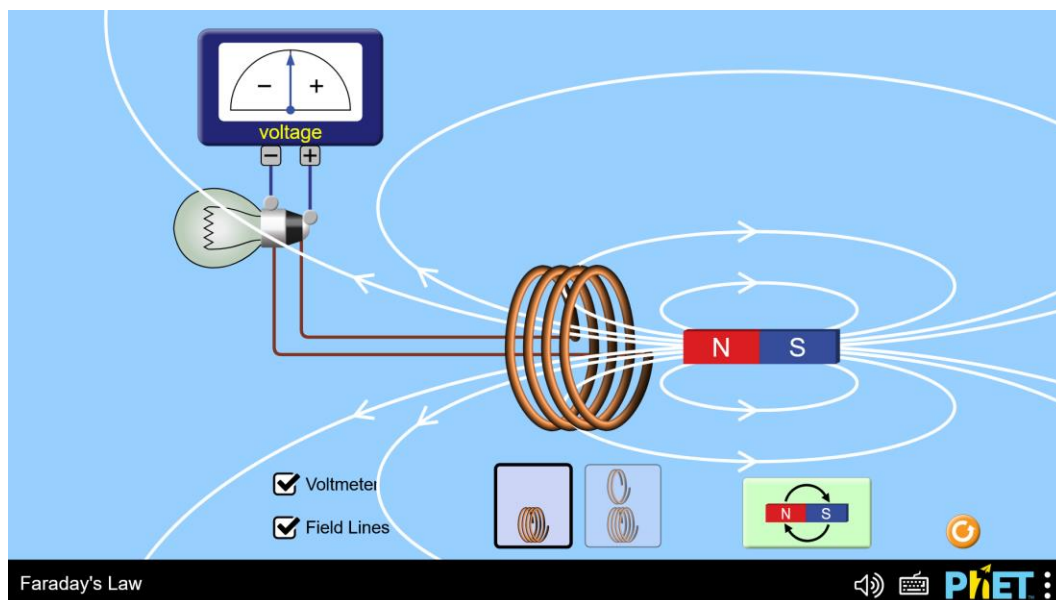
Adotar uma UEPS para estudar a Teoria da Relatividade Restrita com a elaboração de mapas conceituais, é extremamente pertinente, pois identifica claramente as diferenças conceituais entre as teorias. Justamente, por ser uma abordagem conceitual, o uso de mapas pelo professor pode ser mais eficiente porque proporciona a diferenciação progressiva das visões filosóficas de Aristóteles, Santo Agostinho, Kant, Bergson e Heidegger que foram os maiores influenciadores, na opinião do autor, sobre o tempo e evidencia a conexão com a Física. Esse encontro com os pensadores acorda que haja uma experiência afetiva no evento educacional, visto as inúmeras experiências transcendentais e imanentes, que de acordo com Novak está intimamente relacionada com a predisposição para aprender.

4.2 Materiais e equipamentos

Inicialmente foi utilizado um software de interação presencial o Mentimeter que foi aplicado através do compartilhamento do link para gerar uma nuvem de palavras e vislumbrar o conhecimento prévio do aluno, por falta de recurso tecnológicos em sala o software foi operado pelos celulares dos alunos, no entanto não impediu o desenvolvimento do trabalho. Outros recursos foram utilizados na aplicação, um projetor, um computador e atividades impressas em folhas de ofício A4.

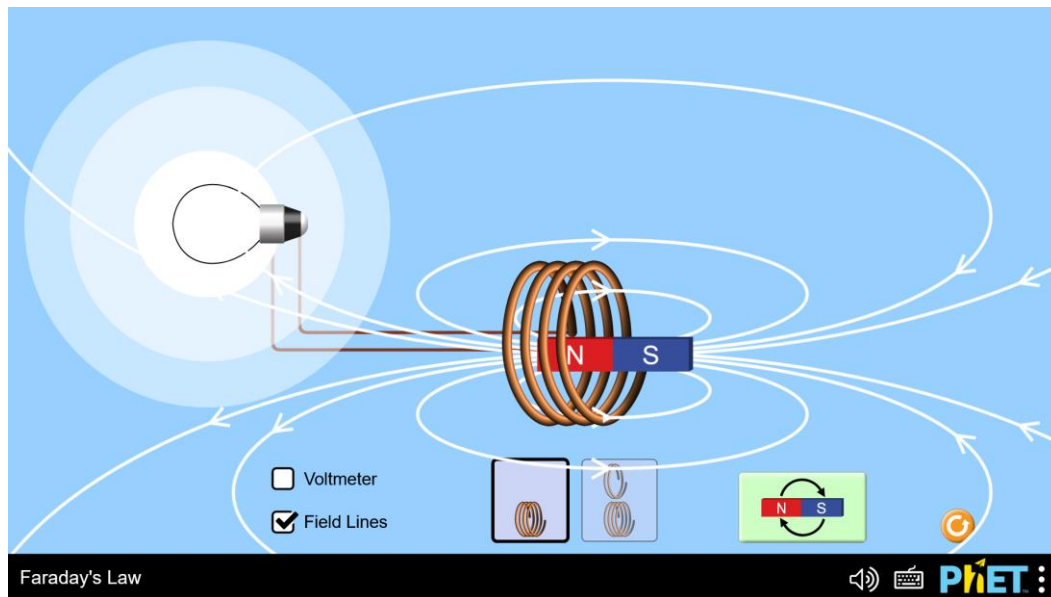
Para entender de forma qualitativa o desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita, a sequência didática utilizou um software de simulação para demonstrar o importante fenômeno de indução eletromagnética da espira e do ímã para observar a conexão com os conceitos de movimento de Newton e Aristóteles e, dessa forma, apresenta os questionamentos iniciais da Teoria da Relatividade de Einstein.

Figura 15 – Interface do simulador Lei de Faraday com velocidade relativa nula entre o ímã e a espira



Fonte: Próprio autor

Figura 16 – Interface do simulador Lei de Faraday com velocidade relativa diferente de zero entre o ímã e a espira



Fonte: Próprio autor

As figuras 15 e 16 apresentam a tela do simulador nas respectivas situações, com as caixas de linhas de campo e voltímetro assinalados e, na outra, somente a caixinha linha de campo, para vermos o campo magnético do ímã e observar a tensão elétrica nula, enquanto o ímã possui velocidade relativa nula em relação a espira, ou seja, está em repouso evidente na lâmpada apagada e acesa na situação seguinte, com o ímã em movimento em relação a espira. Apesar da simulação ser a respeito da Lei de Faraday, modelo disponível no Projeto PhET (Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder), o objetivo principal é a compreensão do fenômeno de indução eletromagnética (SIMULATIONS, 2021).

As atividades e as questões de vestibulares serão resolvidas através dos mapas desenvolvidos pelo professor ou os desenvolvidos pelo autor, como forma de auxiliar os alunos na realização das atividades e das aulas expositivas ministradas em sala.

4.3 Recursos áudios visuais

A Teoria da Relatividade requer uma grande capacidade de abstração dos conceitos físicos, visto que, seu entendimento foge do senso comum. A importância do uso de vídeos como recurso pedagógico é relevante para melhor explanação do conteúdo. Foram escolhidos dois vídeos com intuito de ser,

apenas, demonstrativos dos fenômenos necessários para se entender a teoria, portanto, os vídeos são aplicados sem o áudio para que o professor explique em detalhes sobre os fenômenos. Os vídeos fazem parte da plataforma de vídeos YouTube e serão descritos ulteriormente.

4.3.1 Vídeo 01 – Lançamento em MRU

O vídeo *Movimento dos Projéteis: Experimentos - Lançamento MRU* (também conhecido como movimento composto relacionado ao lançamento vertical de um corpo em MRU) faz parte do canal do canal Física Universitária, tem duração de 1 minuto e 58 segundos e está disponível no site da plataforma de vídeos YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=PhFMeclogl4&t=13s>. Neste vídeo é apresentado o conceito de referenciais e o problema de se observar um mesmo fenômeno de referenciais diferentes, importante abordagem feita por Galileu Galilei que influenciou Isaac Newton e propôs a Einstein a repensar a discordância que havia entre o Eletromagnetismo e Mecânica.

4.3.2 Vídeo 02 – Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade

No vídeo *Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade* tem-se o problema da simultaneidade de eventos distantes, problema explicado pelo famoso exemplo do trem (EINSTEIN, 2017). A duração do vídeo é de 1 minuto e 1 segundo e está disponível no site da plataforma de vídeos YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=Z1vSsvHFhv8>. A demonstração simulada no vídeo remete ao problema de dois eventos ocorrerem em relação a um observador em repouso e outro em movimento, e observa-se que os eventos são simultâneos ao referencial em repouso, porém não o são em relação ao observador em movimento, nesse caso, dentro de um veículo do modelo de um trailer, ou seja, os eventos podem ser simultâneos em relação a um referencial, mas não obrigatoriamente serão em relação a outro referencial.

4.4 Implementação da UEPS

Uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita

A UEPS formulada foi aplicada em duas turmas do terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual Desembargador André Vidal de Araújo de acordo com o Anexo, localizada na cidade de Manaus, do turno matutino, com

aproximadamente 20 alunos na Turma 1 e 15 alunos na Turma 2. A UEPS está disponibilizada no Apêndice A – UEPS: Uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita. O presente trabalho foi publicado no formato de resumo estendido nos anais do evento chamado VIII Simpósio Lasera Manaus 2021 (SILVA SOBRINHO e PADILHA, 2021), com poucas adaptações.

A proposta inicial teria aplicação remota, tendo em vista a pandemia de Covid-19 assolando o país, entretanto, no segundo semestre de 2021 novas medidas de distanciamento foram adotadas no Estado do Amazonas e proporcionaram o retorno as aulas de forma escalonada, ou seja, se uma parte da turma tem aula numa segunda-feira a mesma turma só estará novamente na escola na quarta-feira, e sexta não havia aula para não mudar a ordem das turmas. Desta forma, optou-se por aplicar o produto presencialmente com intuito de obter melhores resultados. As aulas desta sequência didática estão descritas a seguir no resumo dos encontros expostos na Tabela 1.

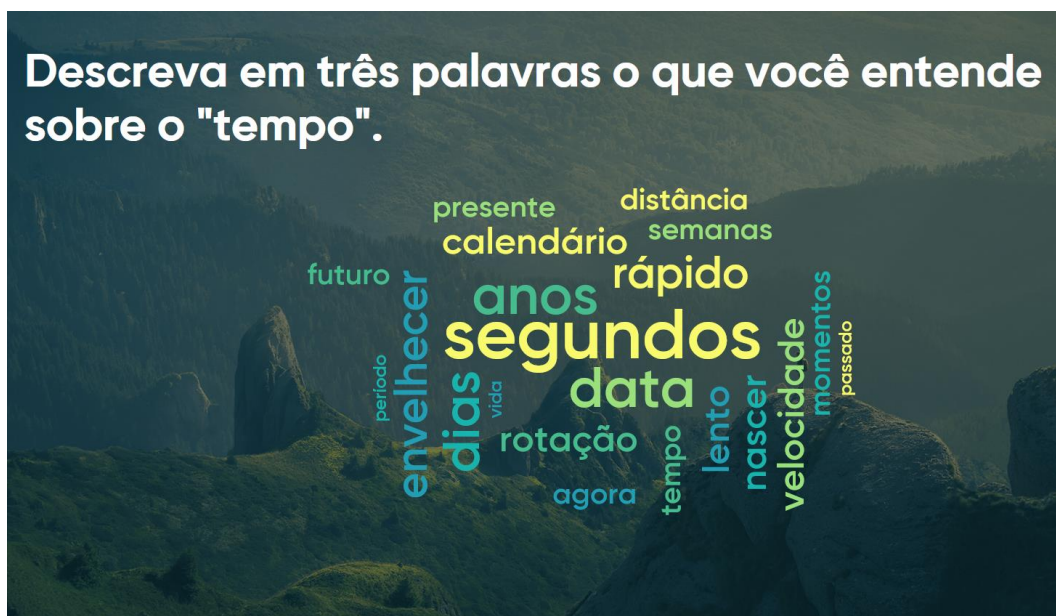
Tabela 1 - Resumo das aulas da UEPS

Aulas (45 minutos)	Desenvolvido
Primeira	Nuvem de palavras; Aula expositiva sobre Aristóteles, Kant e Santo Agostinho; Apresentação dos mapas conceituais.
Segunda	Aula expositiva sobre Bergson e Heidegger; Apresentação dos mapas conceituais; Atividade: Classificar a visão ideológica de cada pensador; Aula expositiva sobre Isaac Newton; Atividade: Resolver questão de vestibular atual para fixação
Terceira	Aula expositiva sobre Albert Einstein; Simulador PHET: Fenômeno de indução eletromagnética; Vídeo sobre lançamento em MRU; Vídeo sobre a relatividade da simultaneidade; Relações da dilatação temporal e contração espacial; Atividade: Resolver questão de vestibular atual para fixação
Quarta	Avaliação

Fonte: Próprio autor (2022)

Primeira aula: Foi proposta a construção de uma nuvem de palavras pela turma a partir do Mentimeter, onde as palavras com mais frequência recebem destaque relacionados ao tamanho e a cor da palavra, o resultado está apresentado na Figura 17. Um link foi enviado pela sala virtual dos alunos e as turmas puderam participar com facilidade pelos smartphones.

Figura 17 – Nuvem de palavras desenvolvido através do Mentimeter



Fonte: Próprio autor (2021)

Depois foi iniciada a aula expositiva com a apresentação das visões filosóficas de Aristóteles, Santo agostinho e Immanuel Kant usando slides no formato Power Point, ver Figura 18.

Figura 18 – Tela de apresentação da primeira aula (slide)



Fonte: Próprio autor (2021)

Terminada a explanação sobre cada pensador foi apresentado um mapa conceitual a respeito de sua visão filosófica sobre o tempo, logo, os alunos foram apresentados a três mapas conceituais construídos pelo autor, através de suas leituras, com a finalidade de conhecer suas principais características e classificá-los, a Figura 19 retrata o momento da aula.

Figura 19 – Primeira aula na turma 2 sobre as visões filosóficas



Fonte: Próprio autor (2021)

Segunda aula: Procedemos com a apresentação dos outros dois pensadores que restavam, Henri Bergson e Martin Heidegger, os mais

contemporâneos dos filósofos escolhidos neste trabalho e seus respectivos mapas conceituais construídos pelo autor, através de suas leituras. Logo depois, os alunos foram apresentados a primeira atividade reproduzido na Figura 20.

Figura 20 – Momento da aplicação da primeira atividade em sala



Fonte: Próprio autor (2021)

Os alunos receberam folhas de papel A4 com uma atividade em sala que requeria classificar os pensadores em substantivistas e relacionistas como primeira questão da atividade, vide Figura 21. Nesta atividade, foi permitido que os alunos trocassem ideias entre si para que houvesse uma discussão com tempo máximo de 20 minutos.

Figura 21 – Classificação dos pensadores realizada por um aluno

Atividade em sala

1) Preencha as colunas de acordo com a visão ideológica de cada filósofo

Aristóteles – Santo Agostinho – Kant – Bergson – Heidegger

SUBSTANTIVISTAS	RELACIONISTAS
Santo agostinho	Aristóteles
Kant	Bergson
	Heidegger

Fonte: Digitalizado pelo autor (2021)

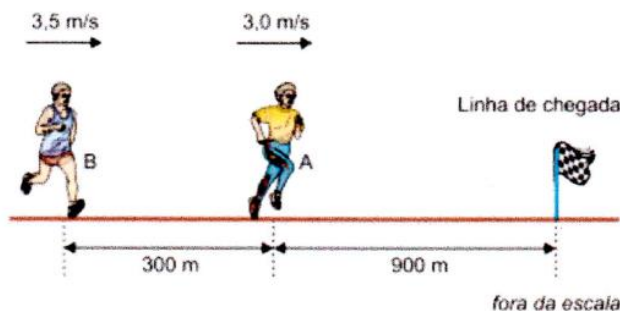
Em seguida, retornamos aos slides e os alunos foram apresentados a física newtoniana e sua concepção de tempo claramente abordada no Principia,

oportunamente comentado no tópico 3.2, e conectado quando possível as concepções filosóficas vistas anteriores a Isaac Newton.

A partir desse encontro, os alunos entraram em contato com o princípio de relatividade newtoniana (transformação de Galileu) que no ensino médio é retratado, de forma suprimida como velocidade relativa. Haja visto que os alunos conheceram o princípio da relatividade newtoniana, em seguida foram apresentados a segunda questão da primeira atividade, um problema do vestibular da Universidade Estadual do Amazonas (UEA) realizado em 2018 na prova de conhecimentos específicos de exatas com o propósito de qualificar o trabalho, visto que a relatividade newtoniana é importante para o entendimento da construção einsteiniana, além de observar também a grande necessidade do aluno de terceiro ano ao ingresso de uma universidade, ver Figura 22.

Figura 22 – Questão da UEA de 2018, respondida por um aluno, que requiriria a transformação de Galileu

- 2) (VUNESP - 2018 - UEA - Prova de Conhecimentos Específicos - Exatas) A figura representa o líder (corredor A) e o segundo colocado (corredor B) de uma corrida de rua no momento em que A está a 900 m da linha de chegada e B está 300 m atrás de A. Nesse instante, o primeiro e o segundo colocados têm velocidades de 3,0 m/s e 3,5 m/s, respectivamente.



Considerando que eles mantenham suas velocidades constantes até o final da prova, pode-se afirmar que

- a) B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 150 m atrás dele.
- b) B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 50 m atrás dele.
- c) A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 50 m atrás dele.
- ☒ d) A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 150 m atrás dele.
- e) A e B cruzam a linha de chegada juntos.

$$V = 3,5 - 3 = 0,5 \text{ m/s}$$

$$t_A = \frac{\Delta s}{V_A} = \frac{900}{3} = 300 \text{ s}$$

$$\Delta s_B = V \cdot \Delta t_A = 0,5 \cdot 300$$

$$\Delta s_B = 150 \text{ m}$$

Fonte: Digitalizado pelo autor (2021)

Terceira aula: Nessa aula, os alunos foram apresentados a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein ressaltando a modificação do conceito da simultaneidade descrito no seu artigo (EINSTEIN, 2020). Aqui, percebe-se como o pensamento contemporâneo estava caminhando para o que diz respeito a relatividade temporal, apesar de que do ponto de vista filosófico como diz o professor Dr. Oswaldo Pessoa “é muito difícil conseguir um esclarecimento adicional consensual por meio da Filosofia” (PESSOA, 2020). Mesmo assim, a necessidade da existência de um tempo próprio foi proposta tanto por Bergson quanto por Heidegger, talvez pela grande dificuldade de explicar tantas experiências transcendentais que se distanciam da imanência que é a base do pensamento desses dois filósofos.

Nesta aula, foi exibido o simulador PHET sobre o fenômeno de indução eletromagnética ocasionado pelo movimento relativo do ímã em relação a espira ou vice-versa, que aponta a razão pela qual Einstein investiga a simultaneidade. Adiante, foi exposto um vídeo sobre o lançamento em MRU realizado pela USP no canal Física Universitária, pela plataforma de vídeos YouTube, para tratar o problema de referenciais, pois trata-se do conhecimento prévio do aluno sobre a construção física de um problema observado em referenciais diferentes, vide subtópicos 4.3.1 e 4.3.2.

Ademais, essa construção teórica privilegia a construção do conceito de espaço-tempo e revela os dois fenômenos que motivam a UEPS sugerida no presente trabalho que são o entendimento da contração do espaço e da dilatação do tempo, dos quais resulta naturalmente da Teoria da Relatividade Restrita. Para fins de fixação, um exercício do vestibular de 2020 da Universidade Federal de Juiz de Fora, foi resolvido em sala de aula pelo professor, ver Figura 23. Também serviu para avisá-los que os vestibulares no Brasil estão cada vez mais incorporando os conteúdos da Física Moderna, nesse caso da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), pelo grande número de aplicações tecnológicas envolvidas e desenvolvimento teórico precursor da Teoria da Relatividade Geral (TRG), apesar de o trabalho não ter como foco a resolução de problemas de vestibulares, propõe-se esse tipo de questão dada a importância do tema e a característica significativa de esclarecer criando uma alternativa de ensino a TRR.

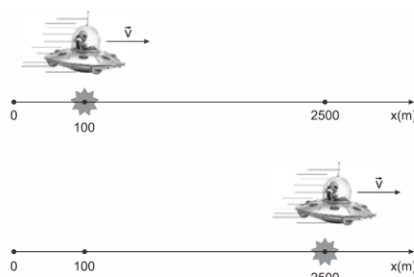
Figura 23 – Questão resolvida pelo professor para fins de fixação da contração e dilatação espaço-temporal

(UFJF - 2020) De acordo com a teoria da relatividade restrita, do ponto de vista de um referencial inercial, o intervalo de tempo Δt entre dois eventos que ocorrem em um referencial, que se move com uma velocidade constante v , é dado pela expressão:

$\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, onde $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Nessa expressão, $\Delta t'$ é o intervalo de tempo entre os dois eventos que ocorrem no mesmo local no referencial em movimento, conhecido como *tempo próprio*. Medidas a partir da superfície da Terra, ao longo de um eixo x , ocorrem duas explosões em diferentes posições: uma em $x = 100$ m e outra, após um intervalo de tempo de $\Delta t = 10 \mu\text{s}$, em $x = 2500$ m. Um piloto de nave espacial, que se move para a direita com uma velocidade v , observa que ambas as explosões ocorrem diante da janela da nave.

Legenda: Nave espacial que se move para a direita com uma velocidade v , observando explosões através de uma janela instalada abaixo da sua nave. (Adaptação de uma imagem retirada do site pt.depositphotos.com).

- Calcule o intervalo de tempo $\Delta t'$ entre as duas explosões, medidas pelo piloto da nave espacial.
- Se do ponto de vista do piloto da nave é a Terra que se move para a esquerda, qual é a distância, ao longo da superfície da Terra, medida pelo piloto entre as posições das duas explosões?



a) Cálculo da velocidade da nave:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2500 - 100}{10 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow v = 0,24 \cdot 10^9 \text{ m/s}$$

Logo, $\Delta t'$ será de:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 10 \cdot 10^{-6} \sqrt{1 - \left(\frac{0,24}{3}\right)^2}$$

$$\Delta t' = 10^{-5} \sqrt{1 - 0,64} = 10^{-5} \sqrt{0,36} = 10^{-5} \cdot 0,6$$

$$\therefore \Delta t' = 6 \mu\text{s}$$

b) A distância medida pelo piloto é igual a:

$$\Delta s' = \Delta s \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 2400 \cdot 0,6$$

$$\therefore \Delta s' = 1440 \text{ m}$$

Fonte: Próprio autor (2021)

Quarta aula: Esta é a última aula da UEPS, reservada para a avaliação ou teste, realizado com questões atuais, assim como as questões apresentadas nas atividades anteriores, para que seja observado o interesse das universidades brasileiras para que seus alunos dominem também uma parte da física moderna, nesse caso, a Teoria da Relatividade Restrita (TRR). A Figura 24 corresponde ao momento de aplicação do teste, a outra professora em sala é uma profissional em Libras disponibilizada pela escola e, acompanhou todas as aulas, durante o teste ela também auxiliou os alunos com deficiência auditiva adequadamente. Ressaltando que a profissional em Libras não foi proposta do presente trabalho, a escola já possui essa iniciativa para melhor servir os seus serviços aos seus alunos, doravante suas necessidades.

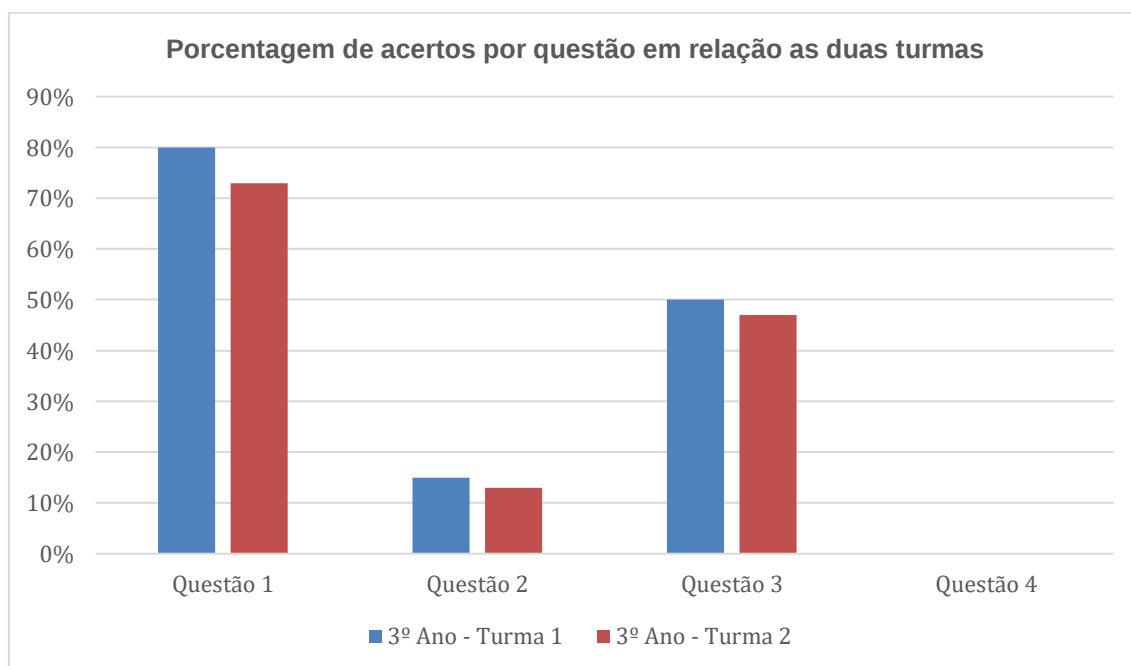
Figura 24 – Instante de realização do teste sobre a TRR



Fonte: Próprio autor (2021)

Durante a aplicação da avaliação foi perceptível a dificuldade de interpretação e a deficiência nas operações de matemática básica porque pouquíssimos alunos terminaram o teste, ver Quadro 1. A questão 4, por exemplo, não foi resolvida corretamente por nenhum aluno das duas turmas.

Quadro 1 – Resumo dos resultados do teste da UEPS

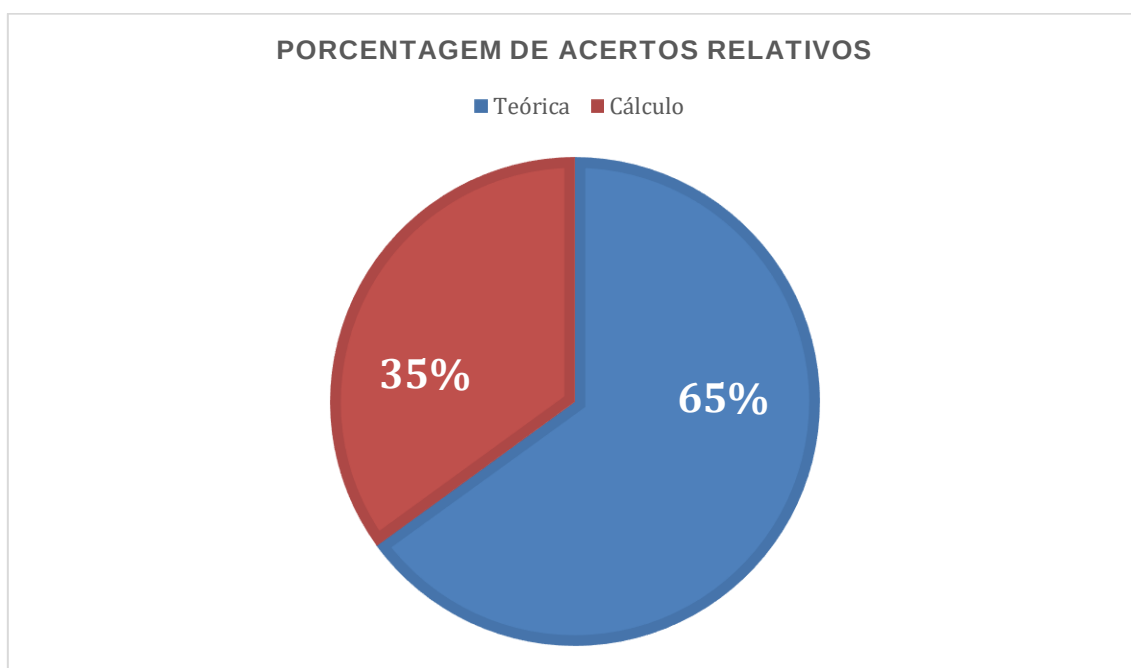


Fonte: Próprio autor (2021)

Foi interessante analisar os quantitativos de acertos relativo a questões teóricas e de cálculo. Ficou claro que o uso de mapas conceituais para a

explicação de parte do conteúdo gerou uma grande diferença nos resultados, vide Quadro 2. Revelando que a abordagem com os mapas obteve um resultado satisfatório. Mesmo que os mapas tenham sido feitos a respeito dos filósofos, a reconciliação integrativa se evidencia pelo maior número de acertos em questões teóricas.

Quadro 2 – Quantidade de acertos relativos das questões teóricas e de cálculo



Fonte: Próprio autor (2021)

Ao fim do teste ficou claro a dificuldade na resolução da questão 4, haja visto 0% de acertos. A questão usa o mesmo raciocínio da questão 3, também necessita da mesma relação física da contração do espaço, apenas há uma mudança em relação a variável a ser calculada. Apesar da pequena modificação, as turmas não conseguiram chegar na solução correta do problema, também vale notar que a maioria desenvolveu a questão 4 como na Figura 25 (teste aplicado em sala) evidenciando um certo desenvolvimento a respeito da teoria.

Figura 25 – Teste realizado por um aluno sobre a Teoria da Relatividade Restrita

Teste sobre a compreensão da dilatação do tempo e contração do espaço da Teoria da Relatividade Restrita

- 1) (Fatec - 2020) Na Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, dois conceitos estudados referem-se ao fato de que, ao considerar um objeto propagando-se à velocidade da luz, podemos verificar
- a) a dilatação do tempo e a dilatação do comprimento.
 - b) a contração do tempo e a dilatação do comprimento.
 - ☒ c) a dilatação do tempo e a contração do comprimento.
 - d) a dilatação do tempo sem contração do comprimento.
 - e) a contração do tempo sem contração do comprimento.

- 2) (UPF - 2019) A teoria da relatividade restrita (TRR), também conhecida como teoria de relatividade especial, foi proposta por Albert Einstein em 1905. Sobre essa teoria, é **correto** afirmar:

- ☒ a) A TRR afirma que as leis da Física são idênticas em relação a qualquer sistema referencial inercial.
- ☒ b) A TRR afirma que a velocidade da luz no vácuo é a mesma, independentemente do tipo de sistema de referência em que ela é medida.
- c) A TRR é válida em todos tipos de sistemas de referência.
- d) Para a TRR, não é possível a contração do espaço.
- e) Na TRR, não é possível a dilatação do tempo.

- 3) (UPF - 2021) De acordo com a teoria da relatividade geral de Albert Einstein, a medida do comprimento de uma barra (L) feita por um observador fixo num referencial inercial R , em relação ao qual a barra está em movimento numa direção paralela ao comprimento da barra com velocidade constante u , é menor do que o comprimento medido (L') no referencial R' em relação ao qual a barra está em repouso. Segundo essa teoria, a relação entre L e L' é dada

por: $L = \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} L'$. Nesta equação c é a velocidade da luz no vácuo. Sendo $L' = 2 \text{ m}$ e u 60% do valor de c , pode-se afirmar que o valor de L , em metros, é:

- a) 1,2
- b) 0,6
- ☒ c) 1,6
- d) 0,8
- e) 1,4

$$L = \sqrt{1 - (0,6c)^2} \cdot 2$$

$$L = \sqrt{1 - 0,36} \cdot 2$$

$$L = \sqrt{0,64} \cdot 2 = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ m}$$

- 4) (FGV - 2018) Os avanços tecnológicos que a ciência experimentou nos últimos tempos nos permitem pensar que, dentro em breve, seres humanos viajarão pelo espaço sideral a velocidades significativas, se comparadas com a velocidade da luz no vácuo. Imagine um astronauta terráqueo que, do interior de uma nave que se desloca a uma velocidade igual à 60% da velocidade da luz, avista um planeta. Ao passar pelo planeta, ele consegue medir seu diâmetro, encontrando o valor $4,8 \cdot 10^6 \text{ m}$. Se a nave parasse naquelas proximidades e o diâmetro do planeta fosse medido novamente, o valor encontrado, em 10^6 m , seria de

- a) 2,7
- b) 3,6
- c) 6,0
- d) 7,5
- e) 11,0

$$D = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot D'$$

$$D = \sqrt{1 - (0,6c)^2} \cdot 4,8 \cdot 10^6$$

$$D = 3,6 \cdot 10^6$$

Fonte: Digitalizado pelo autor (2021)

O trabalho tinha como proposta inicial tratar de mais pensadores como Platão, Poincaré, Berkeley, Husserl e outros. Entretanto, a construção teórica seria muito alongada e dificultaria a aplicação do produto e, provavelmente, resultados negativos seriam mais evidentes. O formato escalonado também dificultou a aplicação, pois para estar com a mesma turma as aulas eram

intercaladas e a aplicação do produto durou mais de duas semanas, totalizando 3 horas de aula em cada turma. Elaborar mapas conceituais também era uma sugestão inicial, talvez num trabalho futuro pode haver construções de mapas conceituais com os alunos a fim de amadurecer as teorias e usar as características “elásticas” dos mapas conceituais para criar discussões e debates em sala de aula. Grande parte das dificuldades apresentadas foram devido a pandemia de Coronavírus o que ocasionou num trabalho mais adaptado a realidade vivida pelos professores, entretanto sem perder a essência que é a integração dos conceitos filosóficos para entender o desenvolvimento da teoria einsteiniana (Teoria da Relatividade Restrita) e suas implicações sobre o tempo.

Capítulo 5

Considerações finais

Nesta dissertação foi proposto uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre a Teoria da Relatividade Restrita, com enfoque em seus efeitos cinemáticos. A partir disso, foi desenvolvida uma abordagem histórica e filosófica sobre o conceito de tempo desde Aristóteles até Einstein, perpassando por Santo Agostinho, Immanuel Kant, Henri Bergson, Martin Heidegger e Isaac Newton, de fato, muitos outros pensadores e físicos tiveram grandes contribuições sobre o que se entende de tempo hoje, estes foram escolhidos por se apresentarem, na visão do autor, aqueles com maior relevância visando esse conjunto de conceitos como organizador prévio. Essa abordagem visa reacender no ensino de Física a construção filosófica aumentando a amplitude dos conceitos para desenvolver uma diferenciação progressiva e a reconciliação integradora com os as teorias físicas, ulteriormente apresentadas, além de apresentar o tempo como uma questão central no debate da Física moderna.

Os filósofos foram apresentados em aulas expositivas com slides combinados aos mapas conceituais de acordo com o pensador apresentado, essa metodologia gerou resultados interessantes visto um quantitativo de acertos, apesar de baixo no geral, superior em 30% nas questões teóricas em relação as questões de cálculo. O intuito de apresentar esses pensadores é de estreitar os conhecimentos físicos com as visões filosóficas e criar uma experiência afetiva, que por sinal foi notória a identificação em sala de aula com a filosofia, visto que muitos pensadores e físicos expõem suas visões de acordo com suas experiências.

No fundo, Aristóteles e Newton não usam metafísica profunda: apenas lançam mão dessas duas diferentes maneiras intuitivas e ingênuas de ver o mundo que nos cerca, considerando ou não o ar, e as transformam em definições do espaço. (ROVELLI, 2018, p. 61)

A UEPS foi a sequência didática escolhida, pois apresenta um nível de organização rigoroso que permite sua aplicação com demasiado zelo e facilidade quando trabalhado passo-a-passo deixando os objetivos claros, além de que permite sua melhora através dos resultados analisados a critério do professor.

A proposta também pode ser expandida, do ponto de vista filosófico observando as correntes de pensamento que influenciaram os respectivos autores e suas construções teóricas. Do ponto de vista físico, há muito o que se fazer, a Teoria da Relatividade Restrita (TRR) redefine o conceito de massa e energia, por exemplo, não tratados neste trabalho. A teoria da Relatividade Geral (TRG) nasce das modificações conceituais da TRR e pode ser estudada conceitualmente. A Teoria das Cordas e a teoria da Gravidade Quântica em Loop também são teorias populares dentro da ficção científica, portanto, podem ser trabalhadas a nível conceitual. O trabalho não conseguiu tratar dessas teorias tão interessantes, pois são construções extensas com desdobramentos profundos que apresentam grandes expectativas e, também limitações o que as torna perfeitas para discussões e o enriquecimento do debate escolar não apenas no contexto físico como foi apresentado com esforço no presente trabalho.

Referências Bibliográficas

ALESSANDRA, Karla. **Educadores alertam para aumento de evasão escolar durante a pandemia**. Câmara dos Deputados, 2021. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/814382-educadores-alertam-para-aumento-de-evasao-escolar-durante-a-pandemia/>>. Acesso em: 10 out. 2021.

AUSUBEL, D.P. (2000). **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 212p.

BARROS FILHO, Clóvis de. **Santo Agostinho e o tempo**. 2021 (7m59s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1bVKpCCEIMg>>. Acesso em: 03 jul. 2021.

BOHM, David. **A teoria da relatividade restrita**. Tradução: Roberto Leal Ferreira. 1 ed. São Paulo: Editora Unesp, 2015.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução: Carlos Almeida Pereira. Editora Contraponto, 2017.

EINSTEIN, Albert. **Zur Elektrodynamik bewegter Körper**. Publicado em: Annalen der Physik 17 (1905): 891–921. Tradução de Oliver F. Piatella. Cadernos de Astronomia, vol. 1, n°1, pp.157-176, 2020.

LORENTZ, Antoon. **A Teoria da Relatividade de Einstein**. Tradução: Luís O. E. dos Santos. 1 ed. São Paulo: Ciadoebook, 2018. E-book.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, Marco Antônio. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Porto Alegre, RS, 2014.

MOREIRA, Marco. **Unidades de ensino potencialmente significativas - UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista, Vol. 1, N.2, pp.43-63 (2011). Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/asr/index.php?go=artigos&idEdicao=2>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

NEWTON, Isaac. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. livro I. Editora Edusp. Traduzido – 2018.

- NOVAK, Joseph. **Aprender a Aprender**. Tradução: Carla Valadares. 1 ed. Lisboa: Plátano, 1984.
- NUSSENZVEIG, Moysés. **Curso de Física básica** Vol. IV. 1 ed., 8 reimpr. São Paulo: Editora Blucher, 2010.
- PESSOA, Osvaldo. **Filosofia da Física. Natureza Física do Tempo**. p. 48-53. Notas de aula, 2020.
- PUENTE, F. E. B. R. **O tempo**. 1 ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2010.
- REICHENBACH, H. (1956). **The direction of time**, editado por Maria Reichenbach, University of California Press, Berkeley (manuscrito de 1953)
- REIS, José. **Estudo: Sobre o tempo**. Revista Filosófica de Coimbra. n.º 9. P.143-203 (1996)
- REIS, José. **Estudo: O tempo em Kant**. Revista Filosófica de Coimbra. n.º16. P.341-465 (1999).
- REIS, José. **Estudo: O tempo em Bergson**. Revista Filosófica de Coimbra. n.º21. P.179-318 (2002)
- REIS, José. **Estudo: O tempo em Heidegger**. Revista Filosófica de Coimbra. n.º28. P.369-414 (2005)
- RENN, Jurgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, (2004)
- ROVELLI, Carlo. **A realidade não é o que parece**. Tradução: Silvana Cobucci Leite. 1 ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2017.
- ROVELLI, Carlo. **A ordem do tempo**. Tradução: Silvana Cobucci Leite. 1 ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2018.
- SCHLICK, Moritz. **Espaço e tempo na Física contemporânea – Uma introdução à Teoria da Relatividade**. Editora *mundaréu. Tradução de Ricardo Ploch – 2016

SILVA SOBRINHO, P. R. F.; PADILHA I. T. **Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a teoria da relatividade**. In: VIII SIMPÓSIO LASERA, 2021, Manaus. Anais. Manaus: Lasera, 2021. p. 61-64. Disponível em: <<https://simposiolaseramaneaus.wixsite.com/oficial/anais-2021>>. Acesso em: 24 set. 2021.

SIMULATIONS, P. I. **Lei de Faraday**. PhET Interactive Simulations. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_en.html>.

WOJTAK, R.; HANSEN, S. H.; HJORTH, J. Gravitational redshift of galaxies in clusters as predicted by general relativity. **Nature** 477, 567–569 (2011). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10445>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ANEXO



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Eu Suziany Leandro Vidinho Da Silva, abaixo assinado, responsável pela **Escola Estadual Desembargador André Vidal de Araújo**, autorizo a aplicação do produto educacional referente ao trabalho de pesquisa intitulado *SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita*, a ser conduzido pelo pesquisador e professor da instituição **Paulo Roberto Ferreira da Silva Sobrinho**. Fui informado(a), pelo responsável do estudo, sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento.

Manaus, 17 de novembro de 2021


E. E. Des. André Vidal de Araújo
SUZIANY LEANDRO VIDINHO
Gestora - Port. GS 388/202

Assinatura e carimbo do responsável institucional

APÊNDICES

Apêndice A – Uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita

Objetivo: facilitar o entendimento da Teoria da Relatividade Restrita (TRR)

Sequência:

1. *Situação inicial:* Os alunos serão motivados a ter contato com o software Mentimeter, e criarão uma nuvem de palavras a respeito do que entendem sobre o tempo possibilitando o contato com o que sabem e de acordo com a evolução do que será absorvido e aula se identifiquem ou não com as diferentes visões filosóficas do tempo. A primeira aula visa conhecer conceitualmente o tempo nas concepções de Aristóteles, Santo Agostinho e Kant. Este fato, inicialmente, tem como objetivo familiarizar os alunos com as ideias destes três pensadores através de aula expositiva (slides) e mapas conceituais.

2. *Situações-problema:*

- a) O que são as visões ideológicas substantivista e relacionista?
- b) O tempo é o mesmo na concepção dos filósofos e da física aprendida no Ensino Médio?
- c) O espaço é o mesmo na concepção dos filósofos e da física aprendida no Ensino Médio?
- d) Existe repouso absoluto?
- e) O movimento é absoluto ou relativo?
- f) O tempo é absoluto ou relativo?

As situações-problema serão resolvidas naturalmente em sala no decorrer das aulas expositivas e algumas serão respondidas como atividade nos próximos tópicos.

3. *Aprofundamento dos conhecimentos:* Essa aula abordará os dois pensadores mais contemporâneos, além de apresentar a física galileana e newtoniana guiando os alunos ao pragmatismo da física na época com conceitos sobre o repouso, movimento, espaço e tempo, através de slides. E

quando possível, conectando ou confrontando os dois pontos de vista desses pensadores e dos físicos.

Após a exposição dos pensadores será entregue aos alunos cópias individuais de uma atividade para classificá-los em substantivistas e relacionistas, sendo auxiliados pelos mapas conceituais desenvolvidos nesta dissertação e no final da aula uma questão atual sobre o princípio da relatividade newtoniana (transformação de Galileu), com intuito de promover a importância do conteúdo tanto para o aluno vestibulando, visto o interesse do aluno finalista no ingresso a uma universidade, quanto para o desenvolvimento da física moderna.

4. *Novas situações-problema:*

- a) Qual é a diferença entre a Transformação de Galileu e a de Lorentz?
- b) O que acontece com o espaço e o tempo na Teoria da Relatividade Restrita?
- c) O que é o espaço-tempo?
- d) O que o GPS tem a ver com a Teoria da Relatividade Restrita?

As situações-problema serão resolvidas naturalmente em sala no decorrer das aulas expositivas e algumas serão respondidas como atividade nos próximos tópicos.

5. *Aula expositiva final:* Na seguinte aula será apresentada a Teoria da Relatividade Restrita conectando com as visões filosóficas quando pertinente. Para o melhor entendimento um vídeo sobre o lançamento em MRU, que descreve a observação de diferentes referenciais, e a conceito de simultaneidade que é o centro da questão relativo à teoria, visto que, a reformulação desse conceito resultou na Teoria da Relatividade. Adiante é demonstradas as relações de contração e dilatação espaço-temporal, sempre usufruindo de slides para tornar a aula mais ilustrativa possível. Uma questão de vestibular atual, também por gerar mais interesse ao aluno finalista, deve ser escolhida para fixação do conteúdo sendo respondida pelo professor mantendo o máximo de interação possível com a turma, principalmente, ao usar as relações de contração do espaço e dilatação do tempo.

6. *Avaliação:* O último encontro é reservado para o teste, a avaliação de aprendizagem será baseada no conteúdo visto na última aula expositiva que

aborda a Teoria da Relatividade Restrita, com foco, nos seus princípios e efeitos cinemáticos por meio de um teste de quatro questões, duas referindo-se aos postulados e duas aos efeitos cinemáticos. Os alunos receberão cópias individuais da avaliação em folha A4 com questões de múltiplas escolhas de vestibulares atuais.

7. Avaliação da própria UEPS: deverá ser feita em função dos resultados de aprendizagem obtidos. Reformular algumas atividades, se necessário.

Total de horas-aula: 3 horas

Apêndice B – Endereço eletrônico dos slides utilizados em sala

Aula 01

Servidor:

https://docs.google.com/presentation/d/1rwapyWNEmyktHUXVgliSzs6TV8rQDgmMZxHQj3JO5s/edit#slide=id.g10fbec4b442_2_23

Aula 02

Servidor:

https://docs.google.com/presentation/d/1UtUOJsKXfV63Nx4gZbleXZLg52AEQjJKW9XUcFBAz_0/edit#slide=id.p

Aula 03

Servidor:

https://docs.google.com/presentation/d/17QOCV4rnxng5u5P4g-EfUUPITk7hl-dsNxREhdTMCL8/edit#slide=id.g110ac6f0fbc_2_94

Links do Mentimeter para a participação e apresentação da nuvem de palavras

Participação:

<https://www.menti.com/iz187noh21>

Apresentação:

<https://www.mentimeter.com/s/bc4cc010c654734568fe5768566d3d22/d3883ac7aaf8>

Apêndice C – Planos de aula

A Sequência Didática do produto é constituída por 4 planos de aula na modalidade de ensino presencial, ressalvo que inicialmente o produto foi pensado na modalidade de ensino a distância, porém, com a volta as aulas no formato escalonado foi possível aplicá-lo de forma presencial. O produto também permite a aplicação a distância, desde que seja utilizado alguma plataforma de ensino, por exemplo, o Google Classroom ou o Microsoft Teams. A duração de cada tempo é de 45 minutos devido a pandemia que obrigou a redução de cada aula visando a segurança dos alunos. Nos planos de aula estão as Aulas, os mapas conceituais, as atividades, os vídeos e os softwares.

Aula 01

Tema da aula: Visões filosóficas de Aristóteles, Santo Agostinho e Immanuel Kant sobre o tempo

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar através de uma nuvem de palavras o que os estudantes entendem sobre o tempo;
- ✓ Apresentar as visões filosóficas desses três pensadores sobre o tempo;

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Interagir por meio do software Mentimeter as concepções de tempo de cada aluno;
- ✓ Aproximar os alunos da visão filosófica desses três grandes pensadores;
- ✓ Apresentar e ensinar a usar os mapas conceituais elaborados para ajudar na concatenação das ideias de cada pensador.

Habilidades:

- ✓ Compreender a concepção de tempo de cada autor, observando quando possível com as concepções de tempo que recebemos do senso comum;
- ✓ Interpretar os mapas conceituais para melhor visualização dos conceitos.

Conteúdo:

- ✓ As concepções filosóficas de Aristóteles, Santo Agostinho e Immanuel Kant;

Recursos:

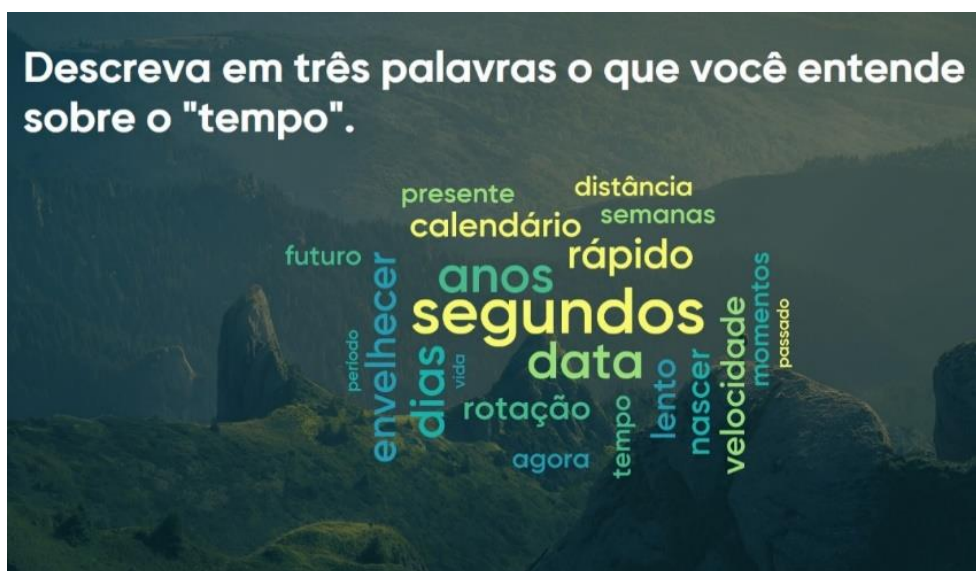
- ✓ Computador;

- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Smartphones;

Desenvolvimento:

Inicialmente será aplicado o software Mentimeter para gerar uma nuvem de palavras com o objetivo de conhecer as concepções de tempo que os alunos possuem por meio do link <https://www.menti.com/iz187noh21> que foi compartilhado em sala de aula para que os alunos pudessem expressar o que pensam de forma simplificada em três palavras e formar a nuvem. Para ver o resultado da nuvem de palavras o professor deve acessar o link <https://www.mentimeter.com/s/bc4cc010c654734568fe5768566d3d22/d3883ac7aaf8>.(15 minutos)

Figura 26 - Nuvem de palavras formada pelos alunos



Fonte: Próprio autor (2021)

Posteriormente, os slides a respeito do tempo de cada pensador foram apresentados e no final da explanação de cada filósofo um mapa conceitual foi exibido para resumir as ideias mais importantes diante da quantidade de conceitos e pensadores. (30 minutos)

Aula 02

Tema da aula: Visões filosóficas de Henri de Bergson e Martin Heidegger e a concepção física de Isaac Newton sobre o tempo

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Apresentar as visões filosóficas desses dois pensadores sobre o tempo;
- ✓ Relacionar a construção física e filosófica do tempo do ponto de vista de Isaac Newton;
- ✓ Classificar os pensadores.

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Aproximar os alunos da visão filosófica desses dois grandes pensadores;
- ✓ Apresentar os mapas conceituais elaborados para ajudar na concatenação das ideias de cada pensador;
- ✓ Relacionar as construções filosóficas com ideias de Isaac Newton.

Habilidades:

- ✓ Compreender a concepção de tempo de cada autor, observando os influenciadores de Isaac Newton;
- ✓ Interpretar os mapas conceituais para melhor visualização dos conceitos e a relatividade newtoniana.

Conteúdos:

- ✓ As concepções filosóficas de Henri Bergson e Martin Heidegger;
- ✓ Relatividade newtoniana e a transformação de Galileu.

Recursos:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Papel A4 com atividade impressa;
- ✓ Quadro branco e marcador.

Desenvolvimento:

Nesta aula, os alunos devem continuar a ver as visões filosóficas e, novamente, terão contato com os seus respectivos mapas conceituais para auxílio nos numerosos conceitos apresentados. Ao fim do conteúdo dos pensadores será feita a primeira atividade impressa, onde os alunos terão que classificar os filósofos em substantivistas e relacionistas (PESSOA, 2020). (20 minutos)

Figura 27 – Slide relativo aos pensadores e as visões ideológicas (Da esquerda para a direita: Bergson, Kant, Aristóteles, Heidegger e Santo Agostinho)



SUBSTANTIVISTA

- Visão ideológica em que o tempo independe do movimento dos corpos.

RELACIONISTA

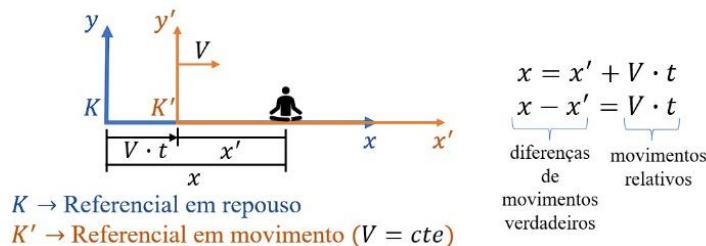
- Visão ideológica em que o tempo depende do movimento dos corpos.

Fonte: Compilação do autor¹ (2021)

Em seguida, inicia-se a parte física e matemática com o slide Isaac Newton e o Tempo no qual será exposto a relatividade newtoniana e a Transformação de Galileu.

Figura 28 - Slide sobre a transformação de Galileu

➤ Princípio da relatividade newtoniana (transformação de Galileu)



➤ O tempo absoluto

$$t = t' \Rightarrow V = v - v', \text{ onde } V \text{ é a velocidade relativa.}$$

OBS.: $a = a'$

Fonte: Próprio autor (2021)

Tendo em vista as relações matemáticas, uma atividade deve ser proposta e depois resolvida pelo professor para auxiliar na fixação do conteúdo. O problema indicado é uma questão do vestibular da Universidade Estadual do Amazonas, propositalmente escolhido pela grande procura da região para ingressar nesta prestigiosa universidade, que requer o conceito de velocidade relativa apreendido na Aula 02. (25 minutos)

¹ Montagem a partir de imagens coletadas nos sites pensador, infoescola, lounge.obviousmag, jpcuenca.medium e felipepimenta.

Aula 03

Tema da aula: Teoria da Relatividade Restrita

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Expor a visão filosófica e a física einsteiniana;
- ✓ Mostrar que a mudança conceitual deu à luz a Teoria da Relatividade Restrita;
- ✓ Empregar as relações de contração do espaço e dilatação do tempo;

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Aproximar os alunos da construção teórica de Einstein;
- ✓ Compreender a necessidade da teoria para analisar um problema físico;
- ✓ Utilizar o software de simulação do fenômeno de indução eletromagnética do PHET, disponível no site:

https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html (Acessado em 20/07/2021).

- ✓ Assistir ao vídeo, *Movimento dos Projéteis: Experimentos - Lançamento MRU* de 1 minuto e 58 s disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=PhFMeclogl4&t=13s> (Acessado em 20/07/2021).

- ✓ Assistir ao vídeo, *Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade* de 1 minuto e 1 s disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=Z1vSsvHFhv8> (Acessado em 20/07/2021).

Habilidades:

- ✓ Entender o desenvolvimento de um conteúdo da física moderna;
- ✓ Calcular a contração do espaço e a dilatação do tempo de forma adequada;
- ✓ Afirmar a importância teórica na construção e desenvolvimento dos problemas.

Conteúdos:

- ✓ Reconstrução teórica do fenômeno da simultaneidade;
- ✓ Teoria da Relatividade Restrita;
- ✓ Efeitos cinemáticos da TRR.

Recursos:

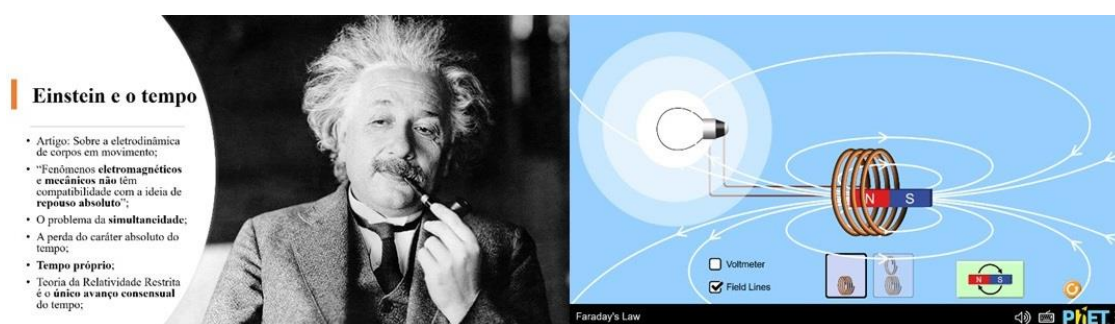
- ✓ Computador;

- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Quadro branco e marcador;
- ✓ Software PHET – Lei de Faraday.

Desenvolvimento:

Na primeira parte da aula os alunos terão aula teórica sobre a concepção einsteiniana e contato com o software que apresenta o problema de indução eletromagnética.

Figura 29 – A esquerda o slide referente a Einstein e a direita a simulação do fenômeno de indução eletromagnética



Fonte: Próprio autor (2022)

Em seguida, foi exibido outro vídeo, agora referente ao problema de referencial, o objetivo deste é lembrar do fenômeno já estudado no primeiro ano.

Figura 30 - Print screen do vídeo do canal da USP referente ao Lançamento em MRU (link disponível na Aula 03)

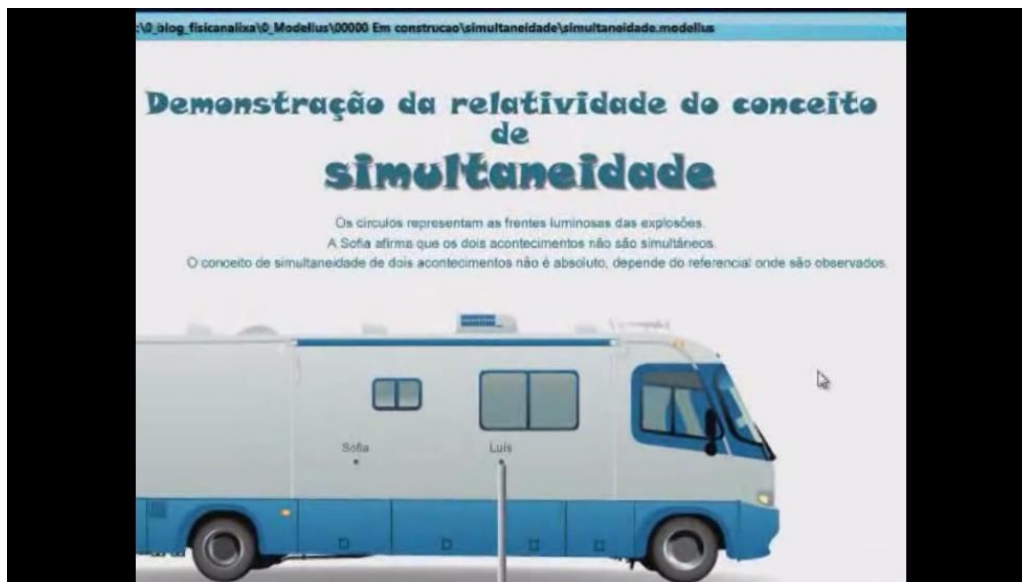


Fonte: Youtube

Com a parte teórica bem construída, os alunos são apresentados a construção matemática da teoria com a demonstração da relação da dilatação

temporal. Para entender o fenômeno demonstrado a partir da descrição matemática é exibido mais um vídeo, agora referente a simultaneidade dos eventos em referenciais distintos, principal alvo na discussão para o surgimento da Teoria da Relatividade Restrita (EINSTEIN, 2020). (20 minutos)

Figura 31 - Print screen do vídeo do canal Física na Lixa referente a Relatividade da Simultaneidade (link disponível na Aula 03)



Fonte: Youtube

Esclarecido que a simultaneidade é relativa, isto é, os eventos não ocorrem ao mesmo tempo em relação a referenciais em repouso e em movimento retilíneo uniforme (MRU) introduz-se aos alunos o conceito de espaço-tempo e seus efeitos cinemáticos, contração do espaço e a dilatação do tempo. Uma questão de um vestibular atual foi escolhida e resolvida juntamente com os alunos para fixação das relações vistas. (25 minutos)

Aula 04

Tema da aula: Avaliação sobre a Teoria da Relatividade Restrita (TRR)

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar os efeitos cinemáticos resultantes da TRR;
- ✓ Expressar os postulados da TRR;
- ✓ Aplicar os conhecimentos sobre a TRR e calcular de forma adequada a contração do espaço ou a dilatação do tempo.

Habilidades:

- ✓ Reconhecer os efeitos cinemáticos e os postulados da TRR;
- ✓ Calcular a contração do espaço e a dilatação do tempo de forma adequada;

Conteúdos:

- ✓ Teoria da Relatividade Restrita;

Recursos:

- ✓ Avaliação conceitual impressa.

Desenvolvimento:

O professor deve aplicar uma avaliação sobre a Teoria da Relatividade Restrita dando ênfase a construção conceitual da teoria e seus efeitos cinemáticos. O tempo de avaliação foi de 45 minutos, um tempo de aula da escola, no final a avaliação será entregue ao professor para correção.

Apêndice D – Produto educacional



PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita

Paulo Roberto F. da S. Sobrinho

Produto educacional, material instrucional, associado à dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) polo 4, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Manaus – AM
11/2021

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE O TEMPO: Breves
implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita**

Manaus - AM
11/2021

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

- S238s Silva Sobrinho, Paulo Roberto Ferreira da.
Sequência didática para o ensino médio sobre o tempo: breves implicações filosóficas sobre o tempo e a teoria da relatividade restrita / Paulo Roberto Ferreira da Silva Sobrinho. – Manaus, 2021.
36 f. : il. color.
- Produto Educacional proveniente da Dissertação - Sequência didática para o ensino médio sobre o tempo: breves implicações filosóficas sobre o tempo e a teoria da relatividade restrita. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Igor Tavares Padilha.
ISBN 978-65-88247-66-2
1. Ensino de física. 2. Teoria da relatividade restrita. 3. Mapas conceituais. I. Padilha, Igor Tavares. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.11

Apresentação

Caro professor, o produto educacional da dissertação de mestrado Sequência Didática para o Ensino Médio sobre o Tempo: Breves implicações sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita aborda uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o auxílio de mapas conceituais para tratar a grande quantidade de visões filosóficas.

A sequência deve ser aplicada para alunos do terceiro ano do ensino médio, onde o aluno já tem domínio de conceitos como velocidade relativa, referenciais inerciais e o fenômeno de indução eletromagnética. De fato, há a possibilidade de aplicar para alunos do primeiro ano, se já conhecerem os conceitos de velocidade relativa e referenciais inerciais, contudo, o fenômeno de indução eletromagnética (EINSTEIN, 2020) precisaria de maior ênfase e tempo devido a importância do fenômeno a respeito do desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita. As aulas iniciam tratando das visões filosóficas e depois da construção física desses conceitos, com o auxílio quando possível de vídeos e softwares para esclarecimento dos conceitos físicos, utilizando a teoria psicológica educacional da Aprendizagem Significativa.

Este produto contém as aulas, a teoria e os recursos didáticos necessários para sua realização. O professor é o principal mediador dos conhecimentos e inicia o produto com uma nuvem de ideias para aproveitar o que os alunos entendem sobre o tempo, passando por aulas expositivas, atividades e uma avaliação – tudo isso – partindo da ideia de que educação é o conjunto de experiências cognitivas, afetivas e psicomotoras (MOREIRA, 1999, p. 167), como proposto por Novak. O produto pode ser aplicado tanto presencialmente quanto a distância, essa flexibilidade foi necessária pensando no momento ocasionado pela pandemia de Covid-19, é evidente, que para tal, algumas modificações devem ser feitas em relação as atividades e a avaliação utilizando algum software como o Google Sala de Aula ou outra plataforma que permita ferramentas adequadas para a implementação.

A Sequência Didática é constituída de quatro aulas que são descritas neste material, e se necessárias adaptadas para melhor se encaixar na realidade vivida, além de que o material pode ser melhorado e acrescentado como descrito na avaliação da UEPS.

Sumário

Apresentação	iii
O tempo segundo Aristóteles, Santo Agostinho, Immanuel Kant, Henri Bergson e Martin Heidegger.....	1
Relatividade newtoniana	8
Relatividade einsteiniana	9
Teoria de ensino	13
Aprendizagem significativa segundo Novak	13
Unidade Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)	13
Mapas conceituais	17
Planos de aula	18
Aula 01.....	19
Aula 02.....	21
Aula 03.....	24
Aula 04.....	28
Considerações finais.....	31
Referências Bibliográficas.....	32

O tempo segundo Aristóteles, Santo Agostinho, Immanuel Kant, Henri Bergson e Martin Heidegger

As visões ideológicas apresentadas se fragmentarão em várias características, notadamente o foco será entender o tempo e sua relação com espaço. Todos esses filósofos criam um arcabouço que em determinados pontos se convergem com a Física e fundamentam o pensamento moderno. Para simplificar, destaca-se as características substantivistas e relacionistas.

Substantivista: Visão ideológica em que o tempo independe do movimento dos corpos.

Relacionista: Visão ideológica em que o tempo depende do movimento dos corpos.

1) Aristóteles (385 – 322 a.C.)

Aristóteles, de certa forma foi o primeiro destes que entra nessa história do estudo tempo, portanto, todos os outros propõem suas ideias a partir de seus pensamentos (REIS, 1999, p.144). A partir de agora viajaremos numa breve história sobre esses conceitos até os dias atuais.

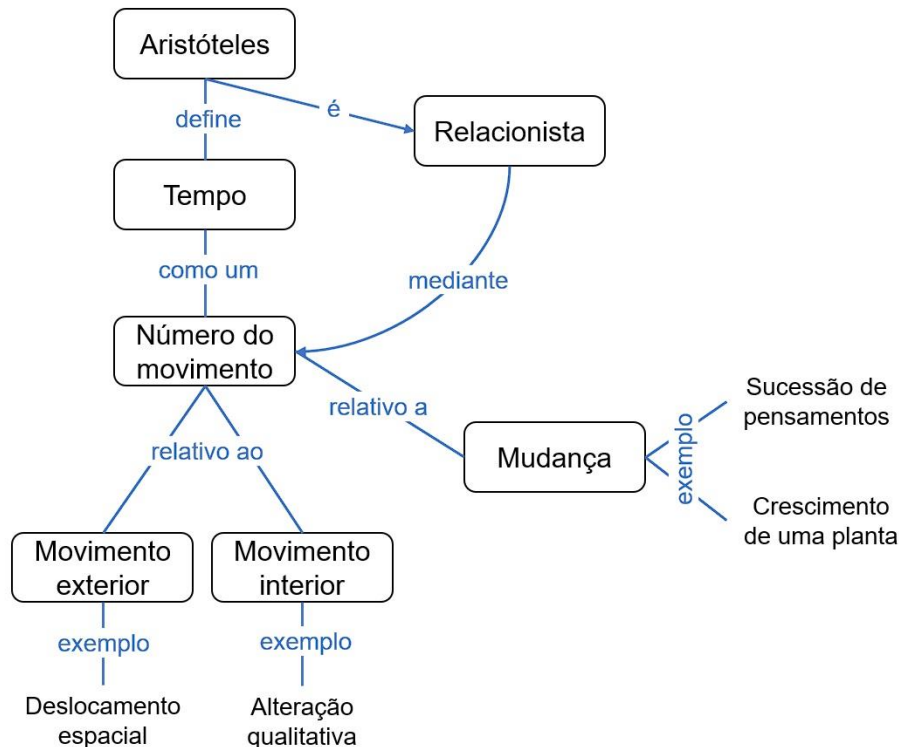
Nos tantos livros escritos por ele um deles traz um questionamento muito especial sobre o tempo, o livro IV da *Física* - assim escrito - “se o tempo existe e, se sim, qual a sua natureza”. Na opinião de Platão, o tempo teria alguma ligação com o movimento dos astros, propondo uma relação estrita com o movimento. Então, seria ele o próprio movimento? Para Aristóteles, não o poderia ser por duas razões: i) existem muitos movimentos e apenas um tempo; ii) os movimentos podem ser rápidos e lentos, e para ele, o tempo é uniforme sempre e por toda parte. Sendo assim, o tempo não é o movimento, mas liga-se a ele. Revelando que quando nada acontece o tempo para e perde a relação de sucessão.

Resumidamente, acredita que existe uma relação estrita entre o movimento e o tempo como mostra a Figura 1. Questionando a natureza do tempo e afirmando que o tempo não é movimento, mas que existe uma ligação. Define o tempo como “o número (...) segundo o antes e o depois” (REIS, 1996, p. 146).

Ideia central: O tempo é apenas medida da mudança.

ROVELLI, 2018

Figura 1 - Mapa conceitual da visão aristotélica



Fonte: Próprio autor (2021)

2) Santo Agostinho (480 – 525)

Segundo Santo Agostinho (480-525), um dos maiores pensadores sobre o tempo desde Aristóteles, como consideram muitos pesquisadores, para entendê-lo o tempo deve ser pensado a partir da eternidade, ou melhor, a partir de Deus vinculando-o a transcendência. Para ele, o tempo é uma distensão do próprio espírito ou alma. Tal conclusão foi levada pela reflexão da qual o passado e o futuro não existem, e o presente não dura para se apreender algo, porque um instante não tem duração apenas sucessão. É indubitável que o tempo tem que Ser, pois ele existe e seus efeitos são indiscutíveis, assim o presente é presentificado para existir explicação (BARROS FILHO, 2021) e, dessa forma, “o que se pode efetivamente medir quando mensuramos o tempo não é, por conseguinte, o próprio tempo, mas tão somente o nosso próprio espírito” (PUENTE, 2010, p. 31), ou seja, o tempo medido é aquilo que foi apreendido de

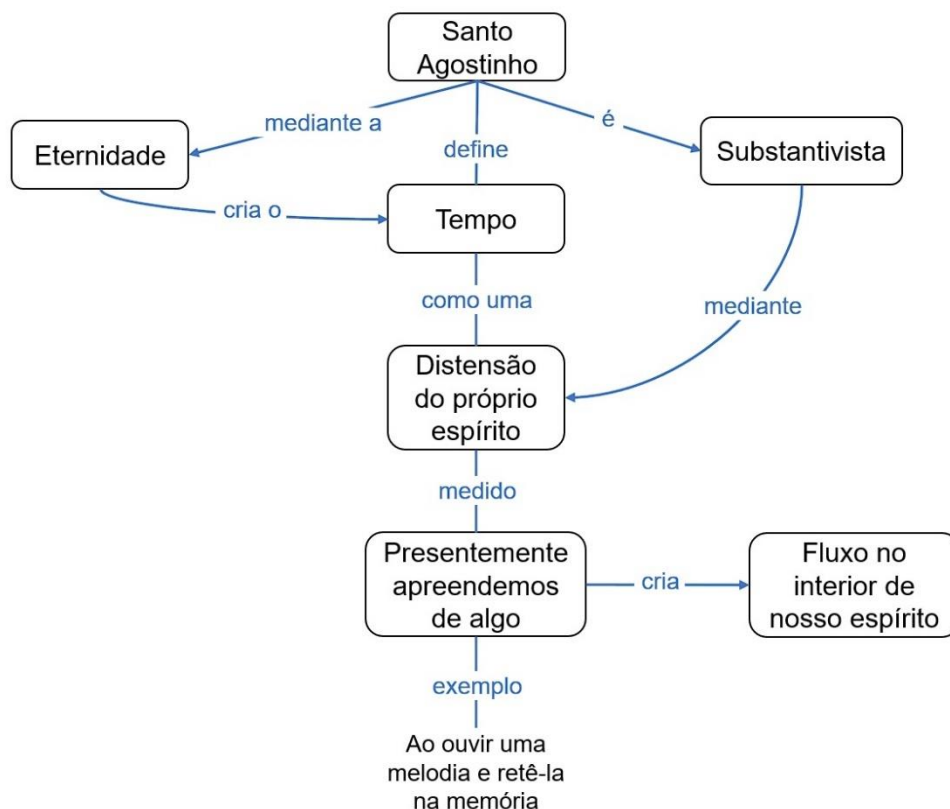
algo como ao estudar e memorizar o conteúdo, ou escutar uma música e retê-la, ou topar numa pedra e sentir a dor por minutos a fio.

Em resumo, questiona a natureza do tempo pensando na eternidade definindo-a como a distensão do próprio espírito ou alma. Levanta a problemática central do pensamento moderno ao filosofar sobre a consciência da duração, responde à questão sobre o passado e o futuro acreditando que estão em nós, em nossa mente, ver Figura 2.

Ideia central: O tempo, portanto, é isto: existe inteiramente no presente, na nossa mente como memória e como antecipação.

ROVELLI, 2018

Figura 2 - Mapa conceitual da visão agostiniana



Fonte: Próprio autor (2021)

3) Immanuel Kant (1724 – 1804)

Immanuel Kant talvez tenha sido um dos pensadores que mais influenciou a Filosofia Moderna, mais interessado na fundamentação do conhecimento humano procurou demarcar os limites da razão humana.

Apresenta a condição *a priori* que determina a existência de algo antes de qualquer percepção, o espaço é um bom exemplo disso, visto que “Não se pode nunca ter uma representação sem espaço, embora se possa muito bem pensar que não há objetos no espaço (...)” (REIS, 1999, p. 349), dessa forma, o espaço é a condição necessária de ocorrência dos fenômenos, ou seja, independente da experiência.

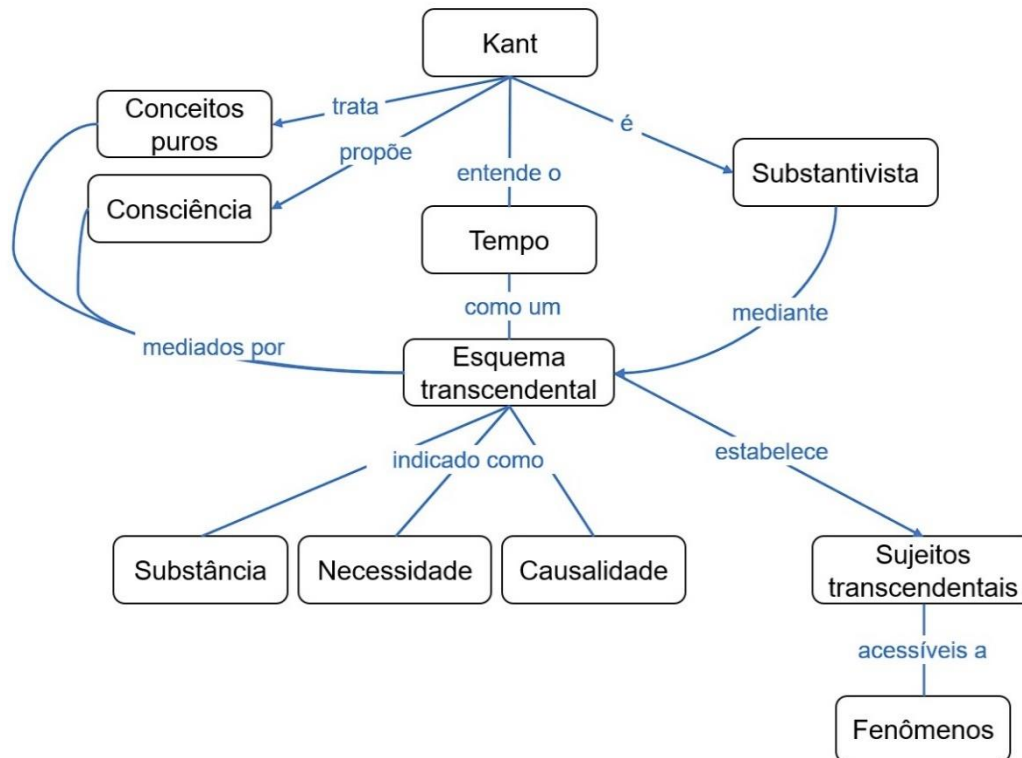
A outra condição é a *posteriori* que determina a dependência das experiências sensoriais para a percepção de algo, dessa forma para que o homem elabore juízos, isto é, que pense, necessita aplicar à experiência sensível (a *posteriori*) os conceitos puros do entendimento (a *priori*). Para isso ocorrer é preciso haver uma mediação que é denominada por esquema transcendental. Como exemplo, o esquema da substância (permanência no tempo), da necessidade (permanência de algo em todo o tempo) ou da causalidade (sucessão temporal que obedece a alguma regra) deixam claro o tempo como função sintetizadora, isto é, o tempo protagoniza a visão kantiana de mundo

Em resumo, discute a natureza do espaço e do tempo, descrevendo-os como formas *a priori* do conhecimento, ou seja, referem-se a forma de apreensão do sujeito e não do mundo objetivo. Sua construção procura determinar os limites da razão humana, visto que as experiências fundamentam o nosso conhecimento, vide Figura 3.

Ideia central: O tempo é forma no sentido *interno*, ou seja, o nosso modo de ordenar os estados *internos*, dentro de nós.

ROVELLI, 2018

Figura 3 - Mapa conceitual da visão kantiana



Fonte: Próprio autor

4) Henri Bergson (1859 – 1941)

Henri Bergson (1859-1941), direciona sua obra a entender a duração, na verdade, a intuição da duração é o centro de sua filosofia, associando à própria consciência, isto é, “todo fenômeno que se apresenta à consciência dura” (PUENTE, 2010, p. 39). Assim, definiu o tempo real como o tempo vivido como duração.

Existe uma diversidade de estados da consciência, mas Bergson classifica-os entre sentimentos, sensações e esforços para facilitar o entendimento da intensidade. Dessa forma, propõe que as sensações se referem a um objeto e os esforços ao movimento do corpo que se caracterizam por ocorrer na superfície da consciência, já o campo dos sentimentos são mais profundos como as emoções, exemplificadas pela dor, alegrias, tristezas ou paixões entre outros.

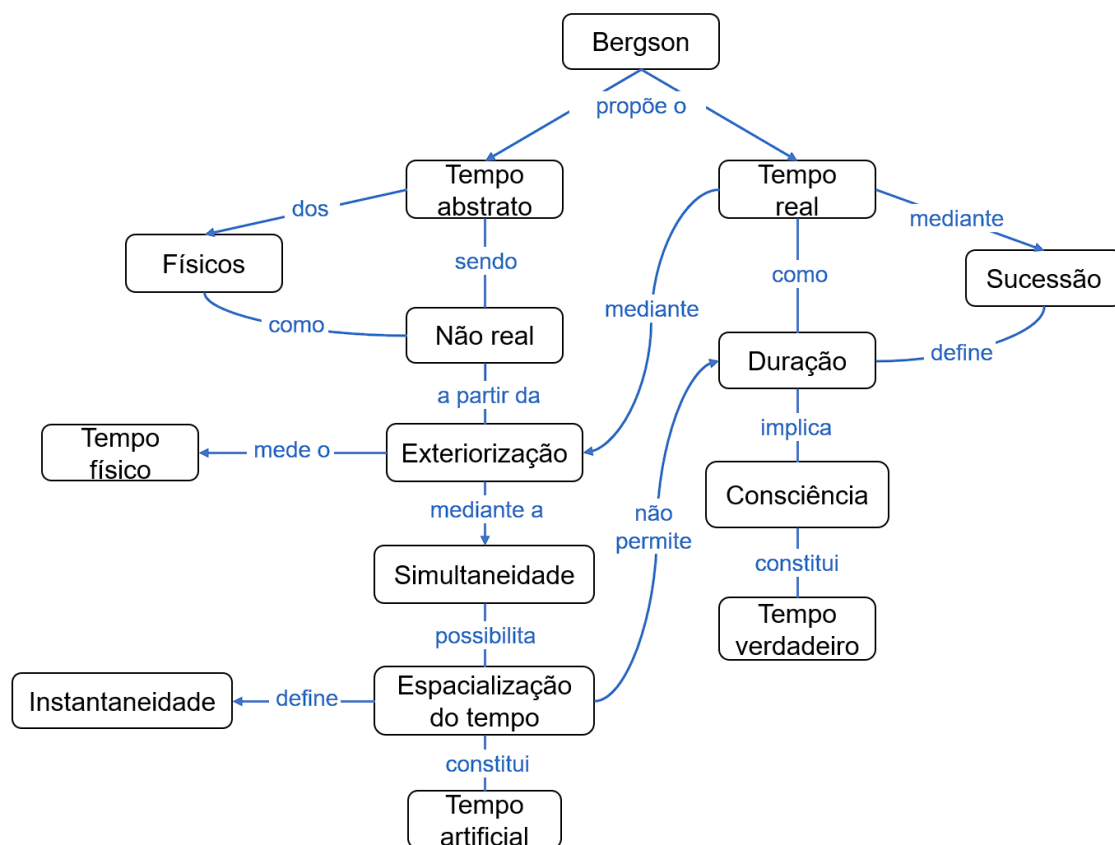
Põe de lado o transcendentalismo, visto que, reflete sobre a temporalidade e a finitude. Busca entender a duração relacionando-a a própria consciência. Subdivide o tempo em real e abstrato, dos físicos, além afirmar o tempo físico é uma “quantificação artificial”, portanto, não existe.

Resumidamente, o tempo de Bergson se divide em tempo real, aquele que dura na consciência como a memorização de uma música e o tempo abstrato, dos físicos, que não é real, pois a duração não se detém (PUENTE, 2010, p. 41). Neste caso, o tempo dos físicos é uma quantificação artificial de uma experiência real como mostra a Figura 4.

Ideia central: (...) sua intuição filosófica fundamental associa o tempo real, a duração, ao tempo vivido pela minha consciência.

PUENTE, 2010

Figura 4 - Mapa conceitual da visão bergsoniana



Fonte: Próprio autor (2021)

5) Martin Heidegger (1889 – 1976)

Para Martin Heidegger (1889-1976) questionar a existência do tempo não é efetivo, ele muda o objeto de estudo, ou seja, formula um novo problema e passa a questionar como o próprio ser pode ser entendido num horizonte temporal. Esse modo de ser do homem constitutivamente temporal, é chamado ser-aí, para enfatizar seu caráter fático e aberto. Podemos entender nas palavras

de José Reis que “A temporalidade heideggeriana se passa no domínio da consciência e quer o passado quer o futuro, embora referidos como o antes e como o depois, são referidos no presente.” (REIS, 2005), isto é, o presente é o cruzamento do futuro com o passado.

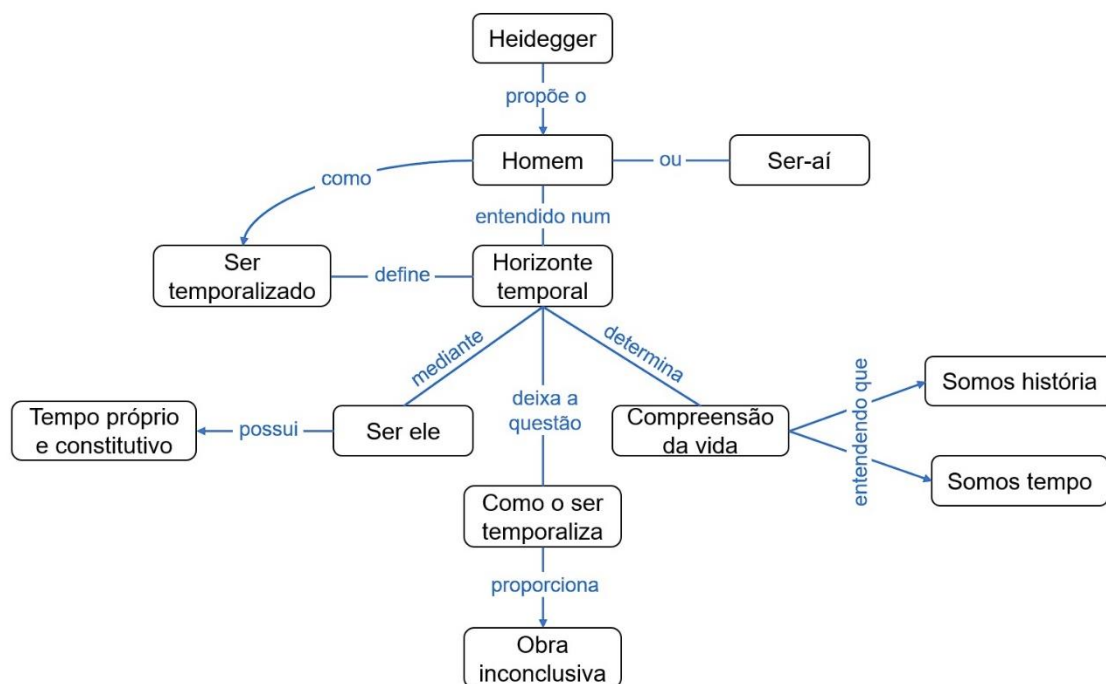
Quanto ao ser, Heidegger nos propõe compreendê-lo temporalmente, assim como a vida, ou uma partida equilibrada de um jogo ou uma história, só entendemos plenamente no horizonte do tempo (PUENTE, 2010, p. 45), ver Figura 5.

Em resumo, interessa-se pelo tempo como uma experiência existencial do ser, identificando a consciência interna do tempo como o próprio horizonte do ser. Dessa forma, a temporalidade de Heidegger existe mediante a consciência fazendo o passado e o futuro referidos no presente.

Ideia central: (...) *somos* um projeto que somente pode ser compreendido de modo pleno no horizonte hermenêutico que nos é oferecido pelo tempo.

PUENTE, 2010

Figura 5 - Mapa conceitual da visão heideggeriana

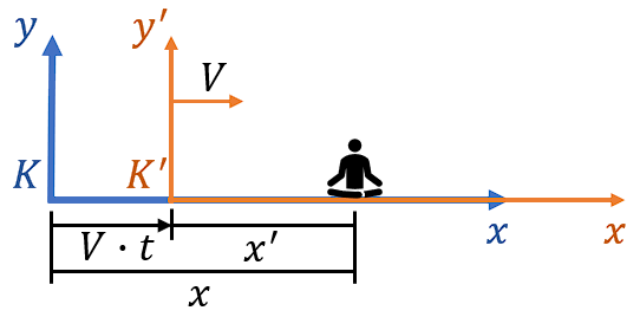


Fonte: Próprio autor (2021)

Relatividade newtoniana

As leis da Mecânica assumem a forma mais simples em referenciais inerciais, tanto que Newton propõe referenciais fixos em estrelas para que sua teoria se justifique. Apesar de entender o comportamento relativo do movimento anteriormente proposto por Galileu em suas transformações, vide Figura 6.

Figura 6 - Dois referenciais inerciais K e K' com velocidade relativa V



Fonte: Próprio autor (2021)

A relação entre dois referenciais pode ser entendida pela ilustração anterior

$$x = x' + V \cdot t \quad (1)$$

e, consequentemente da teoria

$$t' = t \quad (2)$$

ou seja, para Galileu o tempo medido por um relógio no referencial K e por outro relógio no referencial K' , ambos sincronizados, marcarão o mesmo tempo evocando uma característica absoluta do tempo, não mencionada, contudo, marcante na filosofia de Santo Agostinho e de Kant por representarem o transcendentalismo em suas ideias.

Esse comportamento determina a lei de Galileu de composição de velocidades

$$v' = v - V \quad (3)$$

onde, v' e v são as velocidades referentes a K e K' e, V a velocidade relativa, portanto, podemos afirmar, diante desse resultado, que as Leis da Mecânica (Leis de Newton) são válidas em todos os referenciais inerciais. Haja vista a relação (3) e aplicando na eletrodinâmica, observa-se uma incoerência a respeito da relatividade da velocidade da luz, se considerarmos medir a velocidade da luz no referencial K' e depois no referencial K

$$c' = c - V \quad (4)$$

ou melhor,

$$c = c' + V \quad (5)$$

Nessa configuração a velocidade da luz medida no referencial K é maior que no referencial K' , comportamento em desacordo com o Princípio de Constância da Velocidade da Luz.

Relatividade einsteiniana

A incompatibilidade no Princípio da Relatividade Restrita, advinda da transformação de Galileu, e o Princípio de Constância da Velocidade da Luz levou Einstein a unificar esses princípios no seu brilhante artigo de 1905 “Sobre a Eletrodinâmica em Corpos em Movimento” (EINSTEIN, 1905). Seu trabalho simplificou a explicação para o fenômeno através da modificação do conceito de simultaneidade. Einstein percebeu que a simultaneidade não tem caráter absoluto, e sim, relativo, entretanto só percebido ao analisar o fenômeno de simultaneidade de eventos distantes porque é fácil entender que dois eventos podem ser simultâneos em um referencial, mas não significa que serão a todos os outros referenciais que podem vir a ser escolhidos.

Ideia central: Dois eventos que são simultâneos em um sistema de referência não necessariamente devem ser simultâneos em um sistema que se move em relação ao primeiro.

HEWITT, 2011

A perda do caráter absoluto da simultaneidade expõe que o tempo medido de dois eventos pode não ser o mesmo para cada observador, isto é, o tempo medido no referencial K não é igual ao tempo medido no referencial K' (Figura 6) e, essa perda permite substituímos o nosso sistema, antes, apenas espacial para um sistema espaçotemporal, pois o tempo se modificou em relação ao espaço. Einstein notou que as equações de Maxwell, equações que descrevem o eletromagnetismo e a óptica, viajando a certa velocidade, “deixam de ser verdadeiras *para você* (ou seja, não descrevem o que você mede)” (ROVELLI, 2018) determinando que o tempo medido num relógio em repouso e o tempo medido num relógio em movimento podem ser diferentes. O tempo, portanto, possui característica local o que significa dizer que existe vários tempos

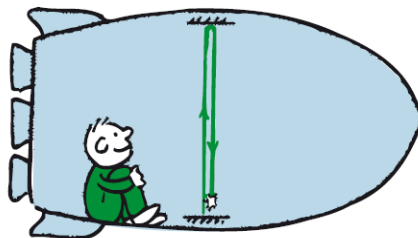
e, conseqüentemente, a teoria mostra que corpos em movimento adquirem uma duração menor que corpos parados.

Ideia central: Para um objeto em movimento, o tempo é reduzido.

ROVELLI, 2018

Essa construção pode ser facilmente entendida no seguinte problema, imagine um observador em repouso relativamente a um referencial em repouso investigando a trajetória de um feixe de luz que é emitido do “chão” da nave até o “teto” onde tem um espelho para refletir e retornar para o “chão”, ver Figura 7.

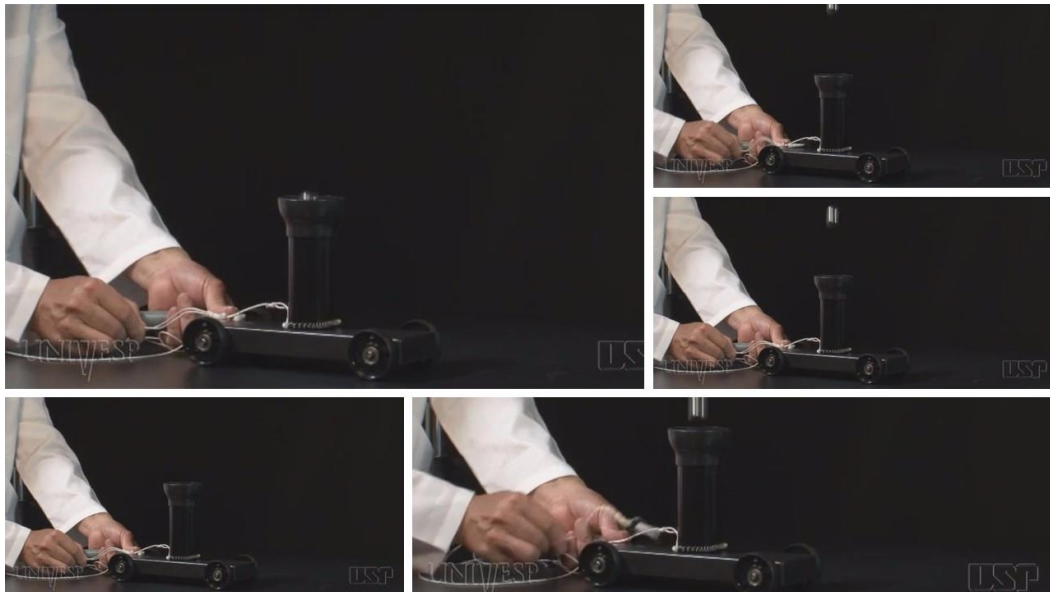
Figura 7 - Observador em repouso relativo à nave



Fonte: Hewitt (Adaptada, 2011)

Para facilitar a compreensão faça uma analogia com o lançamento vertical, ver Figura 8.

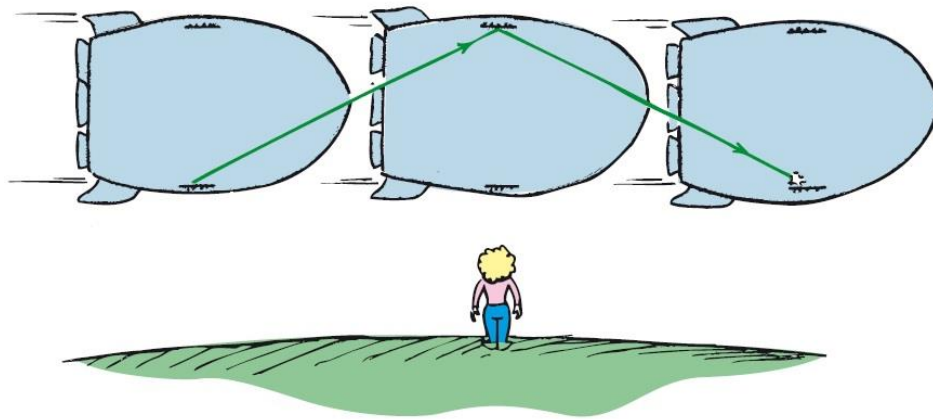
Figura 8 - Sequência de “print screen” retirada do vídeo Lançamento em MRU para representar o movimento vertical de um referencial em repouso



Fonte: Youtube

Em seguida, imagine um observador em repouso relativamente a um referencial em movimento, vide Figura 9.

Figura 9 - Observador em movimento relativo à nave



Fonte: Hewitt (Adaptada, 2011)

Da mesma forma, é possível criar uma analogia ao lançamento em MRU, vide Figura 10.

Figura 10 - Sequência de “print screen” retirada do vídeo Lançamento em MRU para representar a mudança de referencial

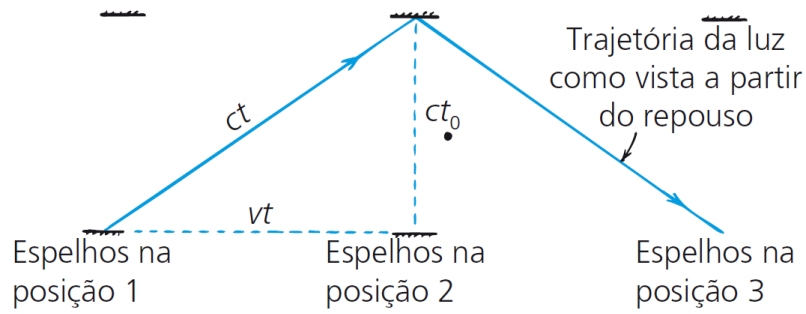


Fonte: Youtube

Os pontos de vistas diferentes decorrem porque a luz apesar de possuir velocidade constante, é formada por frente de ondas esféricas de centros diferentes, ou seja, os eventos que chegam aos observadores são de esferas diferentes porque possuem centros distintos. Isso determina que a finitude da velocidade da luz reprovava a ideia de tempo absoluto.

Em relação a Figura 9, temos um triângulo retângulo formado pelas distâncias (Figura 11) cujo tempo medido no referencial em repouso relativo é o t_0 (tempo próprio), o tempo medido no referencial movimento relativo t (tempo relativo), c é a velocidade da luz e v a velocidade da nave.

Figura 11 - Triângulo retângulo formado pelas distâncias observadas em referências diferentes



Fonte: Hewitt (Adaptada, 2011)

Aplicando o teorema de Pitágoras

$$(c \cdot t)^2 = (c \cdot t_0)^2 + (v \cdot t)^2$$

$$t^2 \cdot (c^2 - v^2) = c^2 \cdot t_0^2$$

$$t^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = t_0^2$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

chamando γ de fator de Lorentz, observando que $\gamma > 1$, e

$$\beta = v/c \quad (8)$$

portanto,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (9)$$

com as devidas modificações encontramos a relação da dilatação do tempo

$$\boxed{t = \gamma t_0} \quad (10)$$

Descrevendo que o tempo medido num referencial em movimento (t) relativamente a um referencial em repouso (t_0) sofre dilatação. Assim também ocorre com o espaço, ou melhor, imaginemos uma barra para facilitar o entendimento, porém, diferentemente de uma dilatação há uma contração. Para não entrarmos em relações matemáticas mais complexas a demonstração matemática dessa relação não será feita, visto não ser o propósito desse trabalho.

$$\boxed{l_0 = \gamma l} \quad (11)$$

Descrevendo que o espaço medido num referencial em movimento (l_0) relativamente a um referencial em repouso (l) sofre contração.

Teoria de ensino

Aprendizagem significativa segundo Novak

A teoria de Novak parte da ideia de que a educação é o conjunto de experiências, cognitivas, afetivas e psicomotoras, que ajudam o indivíduo a se desenvolver na vida (MOREIRA, 1999). Dessa forma, para Novak todo evento educativo é uma ação para trocar significados e sentimentos entre o estudante e o professor. Introduzindo cinco elementos para tais eventos: aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação.

Ideia central: A aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva entre pensamento, sentimento e ação que conduz ao engrandecimento humano.

MOREIRA, 1999

A aprendizagem significativa constitui o conceder significado aos novos conhecimentos que sejam aceitos no momento ou ocasião. Ou seja, o professor ensina significados dentro de um contexto específico aceito por uma comunidade, referência no assunto, naquele momento. Assim ocorre, para o aprendiz/aluno, a relação entre o novo conhecimento e o prévio resulta num novo conhecimento prévio que caracteriza a aprendizagem significativa. Como todo conceito possui significados Novak propõem estratégias instrucionais para tratar a complexidade dos inúmeros significados, o presente trabalho dará ênfase a umas dessas estratégias os mapas conceituais porque é exposto uma grande quantidade de conceitos que podem ser organizados de forma hierárquica na estrutura dos mapas servindo como resumo esquemático quando for necessário.

Unidade Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)

Para que as aulas possuam uma organização e aplicação facilitadas, visto a complexidade dos conceitos de uma teoria não tratada na maioria das escolas do ensino médio, foi escolhido tratar uma unidade de ensino que pudesse tratar os conteúdos em tópicos específicos. Respeitando os seguintes passos:

- 1) definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
- 2) criar/propor situação(ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
- 3) propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;
- 4) uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;
- 5) em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;
- 6) concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas

em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7) a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8) a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais. (MOREIRA, 2011)

Aplicando os passos foi obtida uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita dividida em quatro tempos de aula de 45 minutos, de acordo com os planos de aula do tópico Planos de aula, como a seguir:

Uma proposta de UEPS para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita

Objetivo: facilitar o entendimento da Teoria da Relatividade Restrita (TRR)

Sequência:

1. Situação inicial: Os alunos serão motivados a ter contato com o software Mentimeter, e criarão uma nuvem de palavras a respeito do que entendem sobre o tempo possibilitando o contato com o que sabem e de acordo com a evolução do que será absorvido e aula se identifiquem ou não com as diferentes visões filosóficas do tempo. A primeira aula visa conhecer conceitualmente o tempo nas concepções de Aristóteles, Santo Agostinho e Kant. Este fato, inicialmente, tem como objetivo familiarizar os alunos com as ideias destes três pensadores através de aula expositiva (slides) e mapas conceituais.

2. Situações-problema:

- a) O que são as visões ideológicas substantivista e relacionista?
- b) O tempo é o mesmo na concepção dos filósofos e da física aprendida no Ensino Médio?

- c) O espaço é o mesmo na concepção dos filósofos e da física aprendida no Ensino Médio?
- d) Existe repouso absoluto?
- e) O movimento é absoluto ou relativo?
- f) O tempo é absoluto ou relativo?

Os problemas propostos serão resolvidos naturalmente em sala no decorrer das aulas expositivas e alguns serão respondidos como atividade nos próximos tópicos.

3. Aprofundamento dos conhecimentos: Essa aula abordará os dois pensadores mais contemporâneos, além de apresentar a física galileana e newtoniana guiando os alunos ao pragmatismo da física na época com conceitos sobre o repouso, movimento, espaço e tempo, através de slides. E quando possível, conectando ou confrontando os dois pontos de vista desses pensadores e dos físicos.

Após a exposição dos pensadores será entregue aos alunos cópias individuais de uma atividade para classificá-los em substantivistas e relacionistas, sendo auxiliados pelos mapas conceituais desenvolvidos nesta dissertação e no final da aula uma questão atual sobre o princípio da relatividade newtoniana (transformação de Galileu), com intuito de promover a importância do conteúdo tanto para o aluno vestibulando quanto para o desenvolvimento da física moderna.

4. Novas situações-problema:

- a) Qual é a diferença entre a Transformação de Galileu e a de Lorentz?
- b) O que acontece com o espaço e o tempo na Teoria da Relatividade Restrita?
- c) O que é o espaço-tempo?
- d) O que o GPS tem a ver com a Teoria da Relatividade Restrita?

Os problemas propostos serão resolvidos naturalmente em sala no decorrer das aulas expositivas e alguns serão respondidos como atividade nos próximos tópicos.

5. Aula expositiva final: Na seguinte aula será apresentada a Teoria da Relatividade Restrita conectando com as visões filosóficas quando pertinente. Para o melhor entendimento um vídeo sobre o lançamento em MRU, que

descreve a observação de diferentes referenciais, e a conceito de simultaneidade que é o centro da questão relativo à teoria, visto que, a reformulação desse conceito resultou na Teoria da Relatividade. Adiante é demonstrada as relações de contração e dilatação espaço-temporal, sempre usufruindo de slides para tornar a aula mais ilustrativa possível. Uma questão de vestibular atual deve ser escolhida para fixação do conteúdo sendo respondida pelo professor mantendo o máximo de interação possível com a turma, principalmente, ao usar as relações de contração do espaço e dilatação do tempo.

6. Avaliação: O último encontro é reservado para o teste, a avaliação de aprendizagem será baseada no conteúdo visto na última aula expositiva que aborda a Teoria da Relatividade Restrita, com foco, nos seus princípios e efeitos cinemáticos por meio de um teste de quatro questões, duas referindo-se aos postulados e duas aos efeitos cinemáticos. Os alunos receberão cópias individuais da avaliação em folha A4 com questões de múltiplas escolhas de vestibulares atuais.

7. Avaliação da própria UEPS: deverá ser feita em função dos resultados de aprendizagem obtidos. Reformular algumas atividades, se necessário.

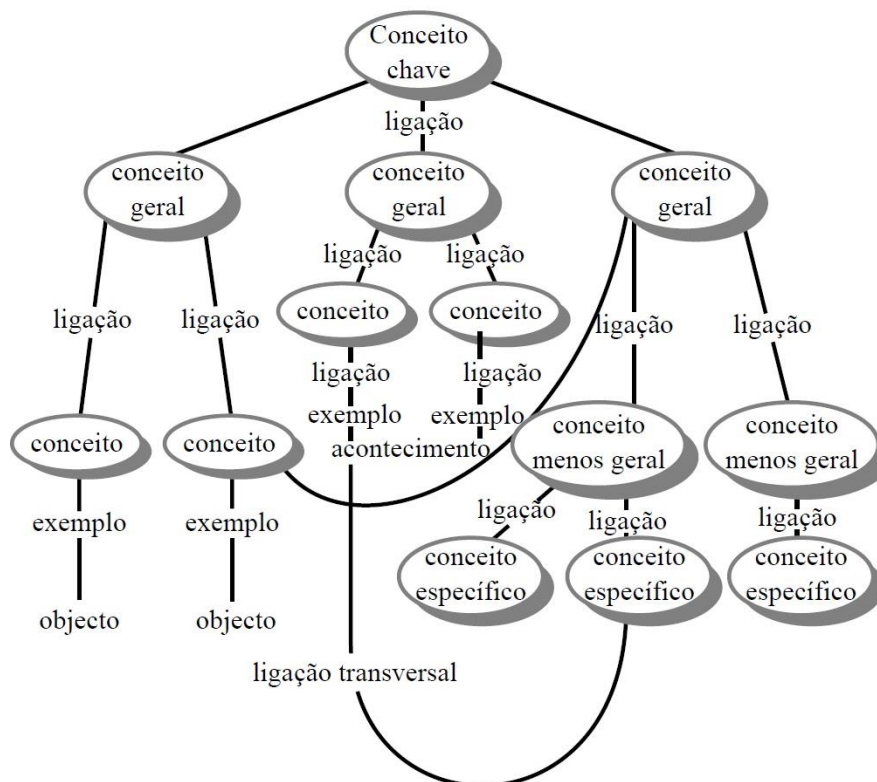
Total de horas-aula: 3 horas

Mapas conceituais

Os mapas conceituais têm como objetivo apresentar relações significativas entre conceitos na forma proposições, por exemplo, o mar é azul, são dois conceitos conectados por uma palavra de ligação o que forma uma proposição. Dessa forma, esta técnica apresenta ser muito benéfica depois de uma tarefa por mostrar um resumo esquemático (NOVAK, 1984, p. 31) do que foi aprendido. A grande quantidade de conceitos motivou a escolha dessa estratégia instrucional, os mapas conceituais.

A construção dos mapas conceituais deve ter hierarquia, com conceitos mais gerais no topo do mapa e os conceitos mais específicos são colocados sucessivamente debaixo deles, isto é, conceitos mais abrangentes na parte superior e, cada vez, menos abrangentes na parte inferior como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Modelo de referência de mapa conceitual retirado do livro "Aprender a Aprender"



Fonte: Novak (1984)

Para Novak, conceito é o nome dado a um comportamento regular ou designação de um termo para um objeto, visto que a construção do conhecimento, para ele, pode “envolver tanto os acontecimentos ou objetos de ocorrência natural como os acontecimentos ou objetos construídos pelo homem” (NOVAK, 1984, p. 20). Seus interesses são no pensamento, nos sentimentos e na ação, acreditando que estes são os elementos “presentes em qualquer experiência educativa e transformam o significado da experiência” (Novak, 1984, 21), que por sua vez, permite definir educação como um processo no qual há a procura ativa de mudança do significado da experiência.

Planos de aula

A Sequência Didática do produto é constituída por 4 planos de aula na modalidade de ensino presencial, ressalvo que inicialmente o produto foi pensado na modalidade de ensino a distância, porém, com a volta as aulas no formato escalonado foi possível aplicá-lo de forma presencial. O produto também permite a aplicação a distância, desde que seja utilizado alguma plataforma de ensino, por exemplo, o Google Classroom ou o Microsoft Teams. A duração de cada tempo é de 45 minutos devido a pandemia que obrigou a redução de cada

aula visando a segurança dos alunos. Nos planos de aula estão as Aulas, os mapas conceituais, as atividades, os vídeos e os softwares.

As aulas desta sequência didática estão descritas a seguir no resumo dos encontros expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das aulas da UEPS

Aulas (45 minutos)	Desenvolvido
Primeira	Nuvem de palavras; Aula expositiva sobre Aristóteles, Kant e Santo Agostinho; Apresentação dos mapas conceituais.
Segunda	Aula expositiva sobre Bergson e Heidegger; Apresentação dos mapas conceituais; Atividade: Classificar a visão ideológica de cada pensador; Aula expositiva sobre Isaac Newton; Atividade: Resolver questão de vestibular atual para fixação
Terceira	Aula expositiva sobre Albert Einstein; Simulador PHET: Fenômeno de indução eletromagnética; Vídeo sobre lançamento em MRU; Vídeo sobre a relatividade da simultaneidade; Relações da dilatação temporal e contração espacial; Atividade: Resolver questão de vestibular atual para fixação
Quarta	Avaliação

Fonte: Próprio autor (2022)

Aula 01

Tema da aula: Visões filosóficas de Aristóteles, Santo Agostinho e Immanuel Kant sobre o tempo

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar através de uma nuvem de palavras o que os estudantes entendem sobre o tempo;
- ✓ Apresentar as visões filosóficas desses três pensadores sobre o tempo;

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Interagir por meio do software Mentimeter as concepções de tempo de cada aluno;
- ✓ Aproximar os alunos da visão filosófica desses três grandes pensadores;
- ✓ Apresentar e ensinar a usar os mapas conceituais elaborados para ajudar na concatenação das ideias de cada pensador.

Habilidades:

- ✓ Compreender a concepção de tempo de cada autor, observando quando possível com as concepções de tempo que recebemos do senso comum;
- ✓ Interpretar os mapas conceituais para melhor visualização dos conceitos.

Conteúdos:

- ✓ As concepções filosóficas de Aristóteles, Santo Agostinho e Immanuel Kant;

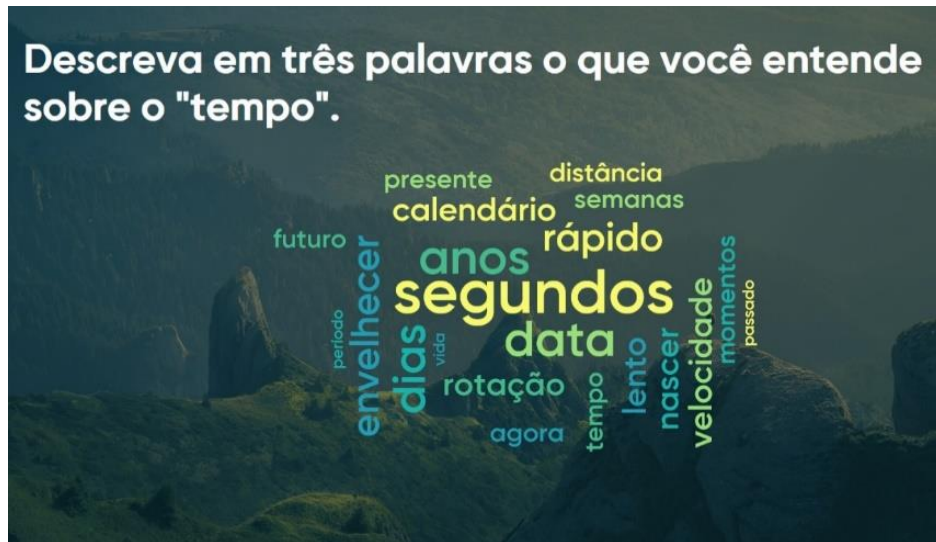
Recursos:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Smartphones;

Desenvolvimento:

Inicialmente será aplicado o software Mentimeter para gerar uma nuvem de palavras, vide Figura 13, com o objetivo de conhecer as concepções de tempo que os alunos possuem por meio do link <https://www.menti.com/iz187noh21> que foi compartilhado em sala de aula para que os alunos pudessem expressar o que pensam de forma simplificada em três palavras e formar a nuvem. Para ver o resultado da nuvem de palavras o professor deve acessar o link <https://www.mentimeter.com/s/bc4cc010c654734568fe5768566d3d22/d3883ac7aaf8>.(15 minutos)

Figura 13 - Nuvem de palavras formada pelos alunos



Fonte: Próprio autor (2021)

Posteriormente, os slides a respeito do tempo de cada pensador foram apresentados e no final da explanação de cada filósofo um mapa conceitual foi exibido para resumir as ideias mais importantes diante da quantidade de conceitos e pensadores. (30 minutos)

Aula 02

Tema da aula: Visões filosóficas de Henri de Bergson e Martin Heidegger e a concepção física de Isaac Newton sobre o tempo

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Apresentar as visões filosóficas desses dois pensadores sobre o tempo;
- ✓ Relacionar a construção física e filosófica do tempo do ponto de vista de Isaac Newton;
- ✓ Classificar os pensadores.

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Aproximar os alunos da visão filosófica desses dois grandes pensadores;
- ✓ Apresentar os mapas conceituais elaborados para ajudar na concatenação das ideias de cada pensador;
- ✓ Relacionar as construções filosóficas com ideias de Isaac Newton.

Habilidades:

- ✓ Compreender a concepção de tempo de cada autor, observando os influenciadores de Isaac Newton;

- ✓ Interpretar os mapas conceituais para melhor visualização dos conceitos e a relatividade newtoniana.

Conteúdos:

- ✓ As concepções filosóficas de Henri Bergson e Martin Heidegger;
- ✓ Relatividade newtoniana e a transformação de Galileu.

Recursos:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Papel A4 com atividade impressa;
- ✓ Quadro branco e marcador.

Desenvolvimento:

Nesta aula, os alunos devem continuar a ver as visões filosóficas e, novamente, terão contato com os seus respectivos mapas conceituais para auxílio nos numerosos conceitos apresentados. Ao fim do conteúdo dos pensadores será feita a primeira atividade impressa, onde os alunos terão que classificar os filósofos em substantivistas e relacionistas (PESSOA, 2020) de acordo com a Figura 14. (20 minutos)

Figura 14 – Slide relativo aos pensadores e as visões ideológicas (Da esquerda para a direita: Bergson, Kant, Aristóteles, Heidegger e Santo Agostinho)



SUBSTANTIVISTA

- Visão ideológica em que o tempo independe do movimento dos corpos.

RELACIONISTA

- Visão ideológica em que o tempo depende do movimento dos corpos.

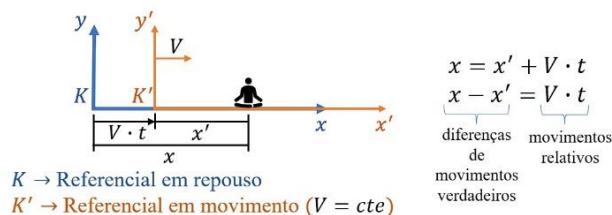
Fonte: Compilação do autor¹ (2021)

Em seguida, inicia-se a parte física e matemática com o slide Isaac Newton e o Tempo, vide Figura 15, no qual será exposto a relatividade newtoniana e a Transformação de Galileu.

¹ Montagem a partir de imagens coletadas nos sites pensador, infoescola, lounge.obviousmag, jpcuenca.medium e felipepimenta.

Figura 15 - Slide sobre a transformação de Galileu

➤ Princípio da relatividade newtoniana (transformação de Galileu)



➤ O tempo absoluto

$$t = t' \Rightarrow V = v - v', \text{ onde } V \text{ é a velocidade relativa.}$$

OBS.: $a = a'$

Fonte: Próprio autor (2021)

Tendo em vista as relações matemáticas, uma atividade deve ser proposta e depois resolvida pelo professor para auxiliar na fixação do conteúdo, ver Figura 16. O problema indicado é uma questão do vestibular da Universidade Estadual do Amazonas, propositalmente escolhido pela grande procura da região para ingressar nesta prestigiosa universidade, que requer o conceito de velocidade relativa apreendido na Aula 02. (25 minutos)

Figura 16 - Slide relativo à questão resolvida em sala de aula com o auxílio da transformação de Galileu

(VUNESP - 2018 - UEA - Prova de Conhecimentos Específicos - Exatas) A figura representa o líder (corredor A) e o segundo colocado (corredor B) de uma corrida de rua no momento em que A está a 900 m da linha de chegada e B está 300 m atrás de A. Nesse instante, o primeiro e o segundo colocados têm velocidades de 3,0 m/s e 3,5 m/s, respectivamente.

Considerando que eles mantenham suas velocidades constantes até o final da prova, pode-se afirmar que

- B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 150 m atrás dele.
- B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 50 m atrás dele.
- A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 50 m atrás dele.
- A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 150 m atrás dele.
- A e B cruzam a linha de chegada juntos.

Aplicando a eq. (4)
 $V = v - v'$

Substituindo as velocidades de A e B
 $V = v_B - v_A = 3,5 - 3 = 0,5 \text{ m/s}$

Calculando o tempo de A para terminar a corrida
 $\Delta t_A = \frac{\Delta S}{v_A} = \frac{900}{3} = 300 \text{ s}$

A partir do tempo de A, calcula-se a distância de B
 $\Delta S_{BA} = V \cdot \Delta t_A = 0,5 \cdot 300$
 $\Delta S_{BA} = 150 \text{ m}$

Fonte: Próprio autor (2022)

Abaixo os problemas usados como fixação, o problema 1 foi desenvolvido pelo autor para classificar as visões ideológicas e o problema 2 foi escolhido por ser uma questão de um vestibular regional e referente a relatividade newtoniana.

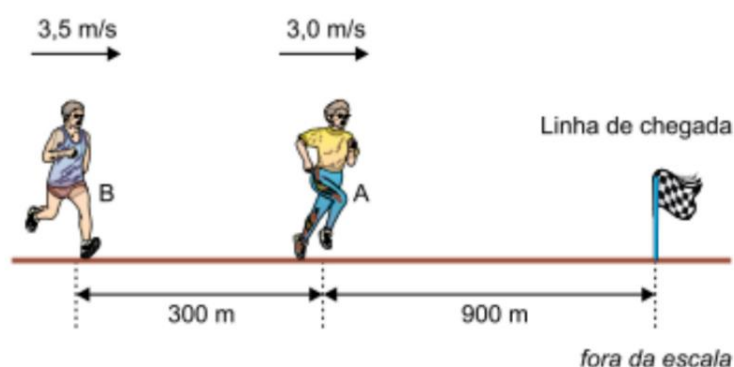
Problemas:

1) Preencha as colunas de acordo com a visão ideológica de cada filósofo:

Aristóteles – Santo Agostinho – Kant – Bergson – Heidegger

SUBSTANTIVISTAS	RELACIONISTAS

2) (VUNESP - 2018 - UEA - Prova de Conhecimentos Específicos - Exatas) A figura representa o líder (corredor A) e o segundo colocado (corredor B) de uma corrida de rua no momento em que A está a 900 m da linha de chegada e B está 300 m atrás de A. Nesse instante, o primeiro e o segundo colocados têm velocidades de 3,0 m/s e 3,5 m/s, respectivamente.



Considerando que eles mantenham suas velocidades constantes até o final da prova, pode-se afirmar que

- B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 150 m atrás dele.
- B vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que A está 50 m atrás dele.
- A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 50 m atrás dele.
- A vence a prova, cruzando a linha de chegada no instante em que B está 150 m atrás dele.
- A e B cruzam a linha de chegada juntos.

Aula 03

Tema da aula: Teoria da Relatividade Restrita

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Expor a visão filosófica e física de Einstein;
- ✓ Mostrar que a mudança conceitual deu à luz a Teoria da Relatividade Restrita;
- ✓ Empregar as relações de contração do espaço e dilatação do tempo;

Motivação: Aula expositiva

- ✓ Aproximar os alunos da construção teórica de Einstein;
- ✓ Compreender a necessidade da teoria para analisar um problema físico;
- ✓ Utilizar o software de simulação do fenômeno de indução eletromagnética do PHET, disponível no site:

https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html (Acessado em 20/07/2021).

- ✓ Assistir ao vídeo, *Movimento dos Projéteis: Experimentos - Lançamento MRU* de 1 minuto e 58 s disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=PhFMeclogl4&t=13s> (Acessado em 20/07/2021).

- ✓ Assistir ao vídeo, *Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade* de 1 minuto e 1 s disponível no site:

<https://www.youtube.com/watch?v=Z1vSsvHFhv8> (Acessado em 20/07/2021).

Habilidades:

- ✓ Entender o desenvolvimento de um conteúdo da física moderna;
- ✓ Calcular a contração do espaço e a dilatação do tempo de forma adequada;
- ✓ Afirmar a importância teórica na construção e desenvolvimento dos problemas.

Conteúdos:

- ✓ Reconstrução teórica do fenômeno da simultaneidade;
- ✓ Teoria da Relatividade Restrita;
- ✓ Efeitos cinemáticos da TRR.

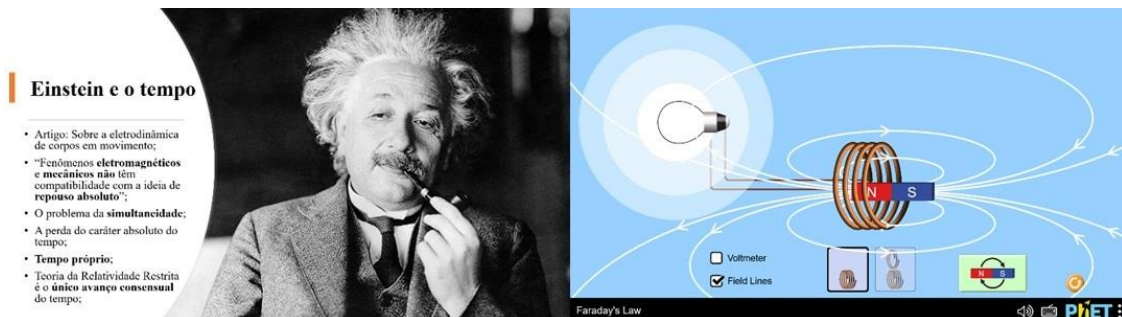
Recursos:

- ✓ Computador;
- ✓ Projetor;
- ✓ Slides usando o software Power Point;
- ✓ Quadro branco e marcador;
- ✓ Software PHET – Lei de Faraday.

Desenvolvimento:

Na primeira parte da aula os alunos terão aula teórica sobre a concepção einsteiniana e contato com o software que apresenta o problema de indução eletromagnética como na Figura 17.

Figura 17 – A esquerda slide referente a Einstein e a direita a simulação do fenômeno de indução eletromagnética



Fonte: Próprio autor (2022)

Em seguida, foi exibido outro vídeo, agora referente ao problema de referencial, o objetivo deste é lembrar do fenômeno já estudado no primeiro ano, vide Figura 18.

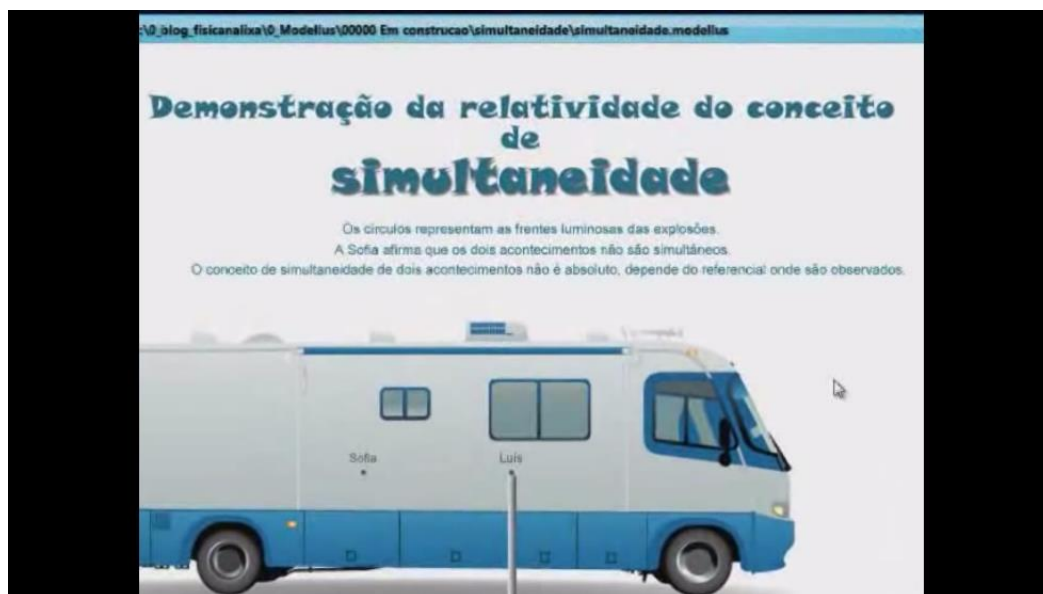
Figura 18 - Print screen do vídeo do canal da USP referente ao Lançamento em MRU (link disponível na Aula 03)



Fonte: Youtube

Com a parte teórica bem construída, os alunos são apresentados a construção matemática da teoria com a demonstração da relação da dilatação temporal. Para entender o fenômeno demonstrado a partir da descrição matemática é exibido mais um vídeo, agora referente a simultaneidade dos eventos em referenciais distintos, principal alvo na discussão para o surgimento da Teoria da Relatividade Restrita (EINSTEIN, 2020). (20 minutos)

Figura 19 - Print screen do vídeo do canal Física na Lixa referente a Relatividade da Simultaneidade (link disponível na Aula 03)



Fonte: Youtube

Esclarecido que a simultaneidade é relativa, ver Figura19, isto é, os eventos não ocorrem ao mesmo tempo em relação a referenciais em repouso e em movimento retilíneo uniforme (mru) introduz-se aos alunos o conceito de espaço-tempo e seus efeitos cinemáticos, contração do espaço e a dilatação do tempo. Uma questão de um vestibular atual, Figura 20, foi escolhida e resolvida juntamente com os alunos para fixação das relações vistas. (25 minutos)

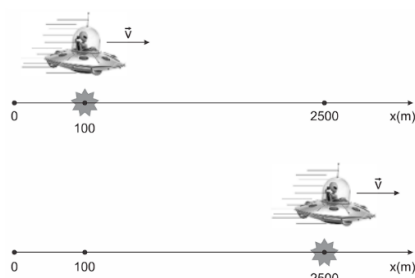
Figura 20 - Slide relativo à questão resolvida em sala de aula aplicando as relações de dilatação e contração do espaço-tempo

(UFJF - 2020) De acordo com a teoria da relatividade restrita, do ponto de vista de um referencial inercial, o intervalo de tempo Δt entre dois eventos que ocorrem em um referencial, que se move com uma velocidade constante v , é dado pela expressão:

$\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$, onde $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Nessa expressão, $\Delta t'$ é o intervalo de tempo entre os dois eventos que ocorrem no mesmo local no referencial em movimento, conhecido como *tempo próprio*. Medidas a partir da superfície da Terra, ao longo de um eixo x , ocorrem duas explosões em diferentes posições: uma em $x = 100$ m e outra, após um intervalo de tempo de $\Delta t = 10 \mu\text{s}$, em $x = 2500$ m. Um piloto de nave espacial, que se move para a direita com uma velocidade v , observa que ambas as explosões ocorrem diante da janela da nave.

Legenda: Nave espacial que se move para a direita com uma velocidade v , observando explosões através de uma janela instalada abaixo da sua nave. (Adaptação de uma imagem retirada do site pt.depositphotos.com).

- Calcule o intervalo de tempo $\Delta t'$ entre as duas explosões, medidas pelo piloto da nave espacial.
- Se do ponto de vista do piloto da nave é a Terra que se move para a esquerda, qual é a distância, ao longo da superfície da Terra, medida pelo piloto entre as posições das duas explosões?



a) Cálculo da velocidade da nave:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2500 - 100}{10 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow v = 0,24 \cdot 10^9 \text{ m/s}$$

Logo, $\Delta t'$ será de:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 10 \cdot 10^{-6} \sqrt{1 - \left(\frac{0,24}{3}\right)^2}$$

$$\Delta t' = 10^{-5} \sqrt{1 - 0,64} = 10^{-5} \sqrt{0,36} = 10^{-5} \cdot 0,6$$

$$\therefore \Delta t' = 6 \mu\text{s}$$

b) A distância medida pelo piloto é igual a:

$$\Delta s' = \Delta s \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 2400 \cdot 0,6$$

$$\therefore \Delta s' = 1440 \text{ m}$$

Fonte: Próprio autor (2022)

Aula 04

Tema da aula: Avaliação sobre a Teoria da Relatividade Restrita (TRR)

Duração: 45 minutos

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar os efeitos cinemáticos resultantes da TRR;
- ✓ Expressar os postulados da TRR;
- ✓ Aplicar os conhecimentos sobre a TRR e calcular de forma adequada a contração do espaço ou a dilatação do tempo.

Habilidades:

- ✓ Reconhecer os efeitos cinemáticos e os postulados da TRR;
- ✓ Calcular a contração do espaço e a dilatação do tempo de forma adequada;

Conteúdos:

- ✓ Teoria da Relatividade Restrita;

Recursos:

- ✓ Avaliação conceitual impressa.

Desenvolvimento:

O professor deve aplicar uma avaliação sobre a Teoria da Relatividade Restrita dando ênfase a construção conceitual da teoria e seus efeitos cinemáticos. O tempo de avaliação foi de 45 minutos, um tempo de aula da escola, no final a avaliação será entregue ao professor para correção. Abaixo, os problemas selecionados para a avaliação de acordo com o conteúdo da Teoria da Relatividade Restrita abordado.

Problemas da avaliação:

- 1) (Fatec - 2020) Na Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, dois conceitos estudados referem-se ao fato de que, ao considerar um objeto propagando-se à velocidade da luz, podemos verificar
 - a) a dilatação do tempo e a dilatação do comprimento.
 - b) a contração do tempo e a dilatação do comprimento.
 - c) a dilatação do tempo e a contração do comprimento.
 - d) a dilatação do tempo sem contração do comprimento.
 - e) a contração do tempo sem contração do comprimento.
- 2) (UPF - 2019) A teoria da relatividade restrita (TRR), também conhecida como teoria de relatividade especial, foi proposta por Albert Einstein em 1905. Sobre

essa teoria, é **correto** afirmar:

- a) A TRR afirma que as leis da Física são idênticas em relação a qualquer sistema referencial inercial.
- b) A TRR afirma que a velocidade da luz no vácuo é a mesma, independentemente do tipo de sistema de referência em que ela é medida.
- c) A TRR é válida em todos tipos de sistemas de referência.
- d) Para a TRR, não é possível a contração do espaço.
- e) Na TRR, não é possível a dilatação do tempo.

- 3) (UPF - 2021) De acordo com a teoria da relatividade geral de Albert Einstein, a medida do comprimento de uma barra (L) feita por um observador fixo num referencial inercial R , em relação ao qual a barra está em movimento numa direção paralela ao comprimento da barra com velocidade constante u , é menor do que o comprimento medido (L') no referencial (R') em relação ao qual a barra está em repouso. Segundo essa teoria, a relação entre L e L' é dada por: $L = \sqrt{1 - u^2/c^2} L'$. Nesta equação c é a velocidade da luz no vácuo.

Sendo $L' = 2 \text{ m}$ e u 60% do valor de c , pode-se afirmar que o valor de L , em metros, é:

- a) 1,2
 - b) 0,6
 - c) 1,6
 - d) 0,8
 - e) 1,4
- 4) (FGV - 2018) Os avanços tecnológicos que a ciência experimentou nos últimos tempos nos permitem pensar que, dentro em breve, seres humanos viajarão pelo espaço sideral a velocidades significativas, se comparadas com a velocidade da luz no vácuo.

Imagine um astronauta terráqueo que, do interior de uma nave que se desloca a uma velocidade igual à 60% da velocidade da luz, avista um planeta. Ao passar pelo planeta, ele consegue medir seu diâmetro, encontrando o valor $4,8 \cdot 10^6 \text{ m}$. Se a nave parasse naquelas proximidades e o diâmetro do planeta fosse medido novamente, o valor encontrado, em 10^6 m , seria de

- a) 2,7

- b) 3,6
- c) 6,0
- d) 7,5
- e) 11,0

Considerações finais

O trabalho segue a premissa básica da teoria de Novak que é pensar, sentir e fazer. Começando com uma abordagem filosófica, para despertar algum tipo de identificação com os cinco pensadores abordados. Tantas visões ideológicas destacando-se as características transcendentais, imanentes, reais, abstratas, substantivistas e relacionistas relatam a construção teórica do ser humano para entender o tempo, vale ressaltar o ponto de vista do físico Carlo Rovelli que destaca que a filosofia não chegou perto de compreender o que é o tempo (ROVELLI, 2018, p.153). Não há uma reflexão profunda sobre cada visão filosófica, apenas os pontos mais relevantes e suficientes para o trabalho em sala de aula, visto que, possivelmente, cada autor desses é uma vida de estudo e discussões.

Evidentemente, a filosofia e a Física buscam responder de formas diferentes a mesma questão, porém, a proximidade e a influência de alguns desses pensadores moldaram a construção física, pelo menos em determinados momentos.

Por fim, as teorias físicas mais importantes, a Física newtoniana e einsteiniana, elaboram-se dessas questões fundamentais para ter uma base e fundamentar suas teorias. A física newtoniana foi abordada dentro do princípio da relatividade já exposto na sua teoria pela transformação de Galileu. A física einsteiniana conseguiu compreender antes de ver, por isso, a grande genialidade e brilhantismo de sua teoria que começa no desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita ou Especial. O produto não aborda toda a teoria, mas explícita a modificação conceitual da simultaneidade, questão central da teoria, e seus efeitos cinemáticos que, de fato, são determinantes para os resultados posteriores da Teoria da Relatividade Restrita.

Referências Bibliográficas

BARROS FILHO, Clóvis de. **Santo Agostinho e o tempo**. 2021 (7m59s).

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1bVKpCCEIMg>>. Acesso em: 03 jul. 2021.

EINSTEIN, Albert. **Zur Elektrodynamik bewegter Körper**. Publicado em: Annalen der Physik 17 (1905): 891–921. Tradução de Oliver F. Piatella. Cadernos de Astronomia, vol. 1, n°1, pp.157-176 (2020).

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci. 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

NOVAK, Joseph. **Aprender a Aprender**. Tradução: Carla Valadares. 1 ed. Lisboa: Plátano, 1984.

PESSOA, Osvaldo. **Filosofia da Física**. Natureza Física do Tempo. p. 48-53. Notas de aula, 2020.

PUENTE, F. E. B. R. **O tempo**. 1 ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2010.

REIS, José. **Estudo: Sobre o tempo**. Revista Filosófica de Coimbra n. °9. p. 143-203 (1996).

ROVELLI, Carlo. **A ordem do tempo**. Tradução: Silvana Cobucci Leite. 1 ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2018.