

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

GISELEN LEFER PADILHA RENNER

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE RESTRITA:
RESULTADOS DA INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA EM UMA
TURMA DO ENSINO MÉDIO

Jaraguá do Sul

20/11/2017

GISELEN LEFER PADILHA RENNER

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE RESTRITA:
RESULTADOS DA INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA EM UMA
TURMA DO ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao
Curso de Licenciatura em
Ciências da Natureza com
Habilitação em Física do
Campus de Jaraguá do Sul do
Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do
diploma de Licenciada

Orientador: Luiz Henrique
Martins Arthury.

Jaraguá do Sul

20/11/2017

GISELEN LEFER PADILHA RENNER

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE:
RESULTADOS DA INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA EM UMA
TURMA DO ENSINO MÉDIO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Licenciada, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Local, dia, mês e ano.

Prof. Dr Luiz Henrique Martins Arthury.

Orientador

Prof. Dr Luiz Fernando Morescki Jr.

Avaliador

Prof. Dra Ana Paula Aguiar de Mendonça

Avaliadora

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria
produção ou a sua construção.”

Paulo Freire.

RESUMO

A presente monografia refere-se a um estudo realizado junto a uma turma do Ensino Médio, em uma escola pública, buscando a inserção de conceitos da Física Moderna e Contemporânea. O projeto efetivou-se a partir do estudo da relatividade, através de uma sequência didática, em uma abordagem integradora entre a Mecânica Clássica, partindo das incoerências entre a adição de velocidades clássicas e a velocidade da luz, e as concepções de espaço e tempo, com a física de partículas, através da detecção dos múons da radiação cósmica. Neste contexto, foi conduzida a Teoria da Relatividade Restrita, através de diferentes estratégias de ensino, incluindo atividades em quadrinhos e o experimento da câmara de nuvens, ou câmara de Wilson. Posterior a efetivação da sequência didática, foram implementados dois questionários descritivos, sendo o primeiro relacionado às relações de significados realizados pelos alunos acerca do conteúdo, e o segundo para avaliação das aulas junto aos estudantes. Percebeu-se com a análise dos dados que, apesar de os alunos considerarem as aulas e o tema interessantes e significativos, não relacionaram o conhecimento trabalhado em sala de aula de forma substantiva, levando a conclusão de que o modelo de ensino atual, no que diz respeito aos seus objetivos com a educação, deve passar por transformações emergenciais.

Palavras-Chave: Dificuldades de inserção de FMC no ensino médio. Teoria da Relatividade no Ensino Médio. Relatividade e aprendizagem significativa.

ABSTRACT

This monograph refers to a study carried out at the middle level of education, in a public school, seeking the insertion of concepts of Modern and Contemporary Physics. The project was based on the study of relativity, through a didactic sequence, in an integrative approach between Classical Mechanics, starting from the incoherences between the addition of classical velocities and the velocity of light, and the conceptions of space and time, with particle physics, through the detection of the muons of cosmic radiation. In this context, the Theory of Restricted Relativity was conducted through different teaching strategies, including comic activities and the cloud chamber experiment, or Wilson chamber. After the effectiveness of the didactic sequence, two descriptive questionnaires were implemented, the first one related to the relations of meanings made by the students about the content, and the second to evaluate the classes with the students. It was noticed from the data analysis that, although the students considered the classes interesting and meaningful, did not relate the knowledge worked in the classroom in a substantive way, leading to the conclusion that the current teaching model, in what concerns its goals with education, must undergo emergency transformations.

Keywords: Difficulties of insertion of FMC in high school. Theory of Relativity in High School. Relativity and meaningful learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma sequência didática	28
Figura 2 – Gráfico concepção dos alunos acerca das aulas	61
Figura 3 – Gráfico concepção dos alunos acerca do tema.....	61
Figura 4 – Gráfico concepção dos alunos acerca da estrutura das aulas	63
Figura 5 – Gráfico dificuldades encontradas pelos estudantes.....	63
Figura 6 – Gráfico avaliação do desempenho individual dos estudantes	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Disposição dos objetivos e coleta de dados	45
Tabela 2 – Sequência didática para o ensino da Relatividade	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ESR II – Estágio de Regência II

FC – Física Clássica

FMC – Física Moderna e Contemporânea

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

MC – Mecânica Clássica

MD – Material Didático

MRU – Movimento Retilíneo Uniforme

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PISA – Programa Internacional de Avaliação dos Estudantes

SD – Sequência Didática

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

TE – Teoria do Elétron

TRR – Teoria da Relatividade Restrita

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa.....	16
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	Aprendizagem significativa... ..	21
3.2	Estratégias facilitadoras... ..	24
3.3	Física moderna no ensino médio: o que dizem as pesquisas... ..	26
3.4	Sequências didáticas... ..	27
3.5	Teoria da Relatividade.....	30
3.5.1	Relatividade de Galileu e a Relatividade Clássica.....	30
3.5.2	Relatividade einsteniana	32
4	METODOLOGIA.....	42
4.1	Descrição da pesquisa... ..	42
4.2	Fontes de informação e coleta de dados... ..	45
4.3	Intervenção pedagógica... ..	48
4.4	Análise dos dados... ..	49
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
5.1	As abordagens em sala.....	52
5.2	Análise das relações de significados acerca do conteúdo.....	58
5.3	Percepções dos discentes acerca das abordagens em sala... ..	63
5.4	Dificuldades de implementação e progressão das aulas... ..	68
5.5	Sobre o envolvimento dos alunos.....	70
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE 1 – Material didático	81
	APÊNDICE 2 – Atividade quadrinhos 1- Relatividade de Galileu	94
	APÊNDICE 3 – Atividade quadrinhos 2- Dilatação do tempo	96
	APÊNDICE 4 – Roteiro experimental câmara de nuvens	98
	APÊNDICE 5 – Slides utilizados nas aulas	100

APÊNDICE 6 – Questionário 1- relações de significados estabelecidos pelos alunos acerca do conteúdo	106
APÊNDICE 7 – Questionário 2- Avaliação das aulas pelos alunos	108

1 INTRODUÇÃO

A década de 90 marcou o início de uma importante discussão sobre a inserção de Física Moderna na educação básica ao nível médio de ensino (TERRAZZAN, 1992). Foi neste período que pesquisadores na área da educação em ciências passaram a elaborar propostas para que o tema Física Moderna se faça presente em sala. (PAULO e MOREIRA, 2004). Inúmeras pesquisas apontam a necessidade de incluir temas que promovam o entendimento do mundo atual, é de consenso entre os profissionais de ensino de física que a física moderna se faça presente em sala de aula (OSTERMANN E MOREIRA, 2000).

Ostermann e Moreira (2000), em uma pesquisa realizada sobre FMC (Física Moderna e Contemporânea), apontam que há inúmeras publicações abordando conteúdos relacionados ao tema, porém, em relação a implementações em sala de aula, os materiais disponíveis ainda são escassos.

No último século observou-se uma gama de inovações tecnológicas e rupturas com visões anteriores, em um número considerável em relação a outros períodos da história da ciência (SEGRÈ, 1987). Nessa ampliação do espectro do conhecimento físico, se encontra a teoria da relatividade restrita (daqui por diante TRR) de Albert Einstein, que deu suporte para o desenvolvimento de novos conhecimentos, promovendo maior entendimento do mundo e uma ruptura definitiva com alguns conceitos da física clássica (daqui por diante FC).

A gênese da TRR é conduzida por questões como: a existência ou não de um meio material no qual as ondas eletromagnéticas se propagariam; a incompatibilidade da regra de adição de velocidades com a constância da velocidade da luz, a qual não depende do movimento relativo entre a fonte e o observador; o conflito entre o princípio da relatividade de Galileu e a proposição de um referencial absoluto; além das últimas descobertas ao nível atômico, com a descoberta do elétron, dos raios X e da radioatividade. Todos esses componentes tornaram indispensável uma reformulação dos conceitos da FC.

O presente projeto procurou elaborar uma proposta para o ensino da Relatividade Restrita no Ensino Médio, considerando as incoerências entre a mecânica clássica em relação a um referencial absoluto, e também a incompatibilidade da adição clássica de velocidades com a constância da velocidade da luz, independente do movimento relativo entre referenciais. Em contrapartida, toma-se a Relatividade Restrita como um fio condutor entre o estudo do movimento relativo, envolvendo a Relatividade de Galileu e as concepções da FC sobre o espaço e o tempo, com a física de partículas, através da detecção dos múons da radiação cósmica.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o ensino de Física vê-se limitado aos conteúdos de FC, porém, é fundamental que os conhecimentos construídos a partir do século XX sejam abordados em sala de aula, uma vez que estes podem contribuir para o entendimento das transformações que ocorrem a cada instante no mundo atual.

A mídia relata alguns acontecimentos que só podem ser compreendidos a partir dos conceitos de FMC, como, por exemplo, a detecção das ondas gravitacionais, previstas na Teoria da Relatividade Geral. Os alunos percebem essa divulgação com frequência na mídia e em filmes de ficção científica, despertando o interesse e a busca pela compreensão desses conhecimentos. Porém, em muitos casos acabam por procurar informações sobre estes conceitos em fontes que transmitem conhecimentos superficiais ou até mesmo errôneos.

Esta curiosidade, uma vez despertada, pode promover o interesse dos estudantes pela ciência, inserí-los na carreira científica, ou na própria docência, e para isso, é fundamental que reconheçam a Física como uma ciência historicamente construída e em pleno desenvolvimento (OSTERMANN e MOREIRA, 2000), e isto pode acontecer quando se promove um ensino de temas atuais, que possibilitem a compreensão das tecnologias recentes e a busca pelo conhecimento resultando em uma satisfação pessoal.

Terrazzan (1992, 1994), já indicava uma tendência em atualizar o currículo de Física devida a influência dos conteúdos contemporâneos, a fim de promover o entendimento do mundo construído pelo homem atual, assim como a necessidade de formar um cidadão consciente e participativo, que seja atuante nesse meio.

(...) a influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como, a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, definem por si só a necessidade de se debater e estabelecer as formas de abordar tais conteúdos na escola média (TERRAZZAN, 1994, p. 43).

Ainda neste sentido, afirma Gil et al., (1987) que o ensino de Física Moderna e Contemporânea aos alunos do Ensino Médio é de suma importância, uma vez que a inserção de tais conteúdos pode contribuir para que os alunos construam uma visão mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico, superando a visão linear e cumulativa do desenvolvimento científico.

Um grupo de trabalho foi organizado na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (BAROJAS, 1988, p. 173), o qual discutiu o ensino de Física Moderna.

Desta Conferência resultaram alguns tópicos que justificam a introdução do conhecimento da Física Moderna na escola média. Dentre os quais pode-se citar:

- Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- É do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- É mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la.

Há ainda outras motivações que justificam a necessidade de abordar os temas de FMC nas escolas de ensino médio, tais como: conectar o estudante com sua própria história; alertar o aluno do obscurantismo, pseudociências e dos charlatanismos pós-modernos; uma maior compreensão de sua localização no espaço e tempo; explicar as consequências tecnológicas e pelo prazer no conhecimento, visto que é um aliado da cultura, podendo torná-las pessoas melhores (TORRE, 1998).

É visível que a introdução de FMC no ensino médio, em particular o ensino da Relatividade, é pertinente, por fazer parte do cotidiano da sociedade e desta forma, o aluno dará sentido à Física nas relações com o mundo que o cerca. Desta forma, tem um grande potencial de proporcionar a superação de barreiras epistemológicas fundamentais e uma compreensão do indivíduo sobre a natureza, fazendo com que o aluno desenvolva uma maior capacidade cognitiva (PAULO, 1997).

Materiais didáticos acerca da Relatividade Restrita são construídos desde os anos setenta, a maior parte de língua inglesa, e objetivou o acesso do tema aos alunos do antigo “segundo grau” e dos ingressados em universidades (principalmente em cursos de Bacharelado em Física), o que proporcionou mudança significativa o enfoque na área da

filosofia (VILLANI, 1997).

Pesquisas na área de ensino de Física apontam que atualmente há uma diversidade de materiais no que tange os conteúdos de Física Moderna, e com a relatividade esta perspectiva se inclui. Todavia, investigações indicam que as inserções dos temas de FMC são escassas, assinalando uma perspectiva de implementação de tais conteúdos no Ensino Médio.

Os documentos oficiais, como os PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio) e o PCN + já indicavam a necessidade de abordagens de temas de FMC no Ensino Médio, com o objetivo de nortear as práticas docentes. Os PCNs trouxeram propostas construídas ao longo dos últimos 30 anos, e nestas se incluem os temas de FMC, porém, observa-se que o cenário atual da educação não sofreu modificações efetivas após a publicação desses documentos (texto adaptado de GUERRA, BRAGA e REIS, 2007).

No que tange ao conteúdo de Física Moderna, especificamente ao ensino da Relatividade em sala, é de suma importância destacar que “devido à relevância do tema para a física e objetivando uma inserção de temas modernos e contemporâneos, acreditamos que o princípio da Relatividade mereça uma discussão mais ampla nas aulas de física no ensino médio” (KARAM, CRUZ e COIMBRA, 2006, p. 107).

Outros autores trazem a relevância do estudo de tal conteúdo em sala, uma vez que se insere em diferentes esferas, conforme Peduzzi sobre Holton, referindo-se à relatividade einsteiniana

“Para encontrar um outro trabalho que tão ricamente ilumina as relações entre física, matemática e epistemologia, ou entre experimento e teoria, com a mesma extensão científica, filosófica e implicações intelectuais gerais, seria preciso voltar aos Principia de Newton”. Talvez não seja possível expressar de forma tão eloquente, e em tão poucas palavras, a importância do estudo dessa teoria (PEDUZZI, 2015, p. 3).

Nesse sentido, investigações em ensino de Física apontam a necessidade de ensinar FMC na educação básica, em especial a relatividade restrita, uma vez que os alunos terminam o Ensino Médio sem esses conhecimentos.

Considerando a dificuldade de materiais e métodos disponíveis para o ensino desta temática, nesta pesquisa de abordagem qualitativa, buscou-se construir uma proposta didática que contemplasse a TRR, com abordagem relacionada a mecânica clássica, e um fio condutor com a quântica, ao estudar as implicações da teoria da relatividade geral na detecção dos múons da radiação cósmica. Este trabalho considera ainda a perspectiva de uma aprendizagem significativa e contextualizada, com base na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel.

1.2 OBJETIVOS

De forma geral, este estudo procurou investigar implicações da inserção de Física Moderna e Contemporânea em uma turma do ensino médio, através de uma sequência didática sobre a Relatividade.

1.2.1 Objetivo Geral

Pretende-se com esta investigação, de forma geral: *“Investigar implicações da inserção de física moderna e contemporânea em uma turma do Ensino Médio, através de uma sequência didática sobre a Relatividade.”*

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Construir um material didático para o estudo da Relatividade, abordando incoerências da mecânica clássica e a detecção dos múons;
- Avaliar os limites e potencialidades da proposta, de acordo com uma aprendizagem significativa, no ensino médio;
- Examinar as relações construídas pelos alunos acerca dos conteúdos propostos;
- Analisar as percepções dos alunos acerca da sequência didática implementada.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Para Minayo (1994), as questões da investigação estão relacionadas a interesses e circunstâncias socialmente condicionadas. Toda investigação tem início com uma questão ou uma dúvida, articulada a conhecimentos anteriores.

A questão problema que norteia esta investigação é definida como: *“Quais os resultados da inserção de física moderna e contemporânea em uma turma de Ensino Médio, através de uma sequência didática sobre a Relatividade?”*

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Aprendizagem significativa

A teoria da aprendizagem significativa (TAS) foi proposta por David Ausubel, na década de sessenta, como forma de alternativa à visão comportamentalista que predominava até então. Moreira (2006) intitula essa perspectiva com caráter cognitiva de clássica, indicando em seguida algumas contribuições de outros autores como Joseph Novak, Bob Gowin e o próprio Moreira (LEBOEUF e BATISTA, 2013).

Aprendizagem significativa é aquela na qual ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe (MOREIRA, 2012). Ou seja, ocorre quando uma nova informação, conceito ou proposição se relaciona com algum conhecimento prévio especificamente relevante e que já se apresenta disponível na estrutura cognitiva do aprendiz. Este conhecimento prévio é chamado subsunçor, um tipo de ancoradouro para as novas informações ou conhecimentos adquiridos (LEBOEUF e BATISTA, 2013).

Desta forma, o subsunçor é um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende, e que permite dar significado a outros conhecimentos. Um subsunçor pode também ser uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo, um conhecimento prévio relevante para a aprendizagem significativa de novos conceitos. "A clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito. Trata-se de um conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, involuir". (MOREIRA, 2012, p. 4).

Essa interação cognitiva entre o conhecimento novo e os subsunçores é considerado o núcleo firme da perspectiva proposta por Ausubel, e nesta perspectiva, considera-se os conhecimentos prévios como o fator isolado mais relevante no processo de aprendizagem significativa (LEBOEUF e BATISTA, 2013). Para o caso de o aluno não dispor de subsunçores adequados que possam atribuir significados aos novos conhecimentos, Ausubel sugere o uso dos organizadores prévios, e para Moreira (2012):

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de

abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este (MOREIRA, 2012, p. 4)

Os organizadores prévios podem ser usados quando o aluno não demonstrar associar um conhecimento novo aos seus conhecimentos prévios, e não somente quando os subsunçores se mostrarem ineficientes.

A aprendizagem significativa diverge da aprendizagem mecânica (ou por memorização), uma vez que na aprendizagem mecânica as informações pouco interagem com os conhecimentos prévios, e ficam armazenadas de maneira arbitrária e literal, sendo logo esquecidas. No entanto, esses tipos distintos de aprendizagem não devem ser interpretados como uma dicotomia, mas como polos opostos de um *continuum*. Isto implica que há diferentes níveis de aprendizagem, e estas podem estar mais próximas de um polo ou de outro, sendo mais ou menos significativas, mais ou menos mecânicas, dependendo da quantidade e qualidade das interações cognitivas resultantes do processo (LEBOEUF e BATISTA, 2013).

Para Moreira (2012, p. 8) a aprendizagem significativa ocorre segundo duas condições essenciais; 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. A primeira implica que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, etc.) tenha significado lógico, relacionável de maneira não arbitrária e não literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. Também implica que o aprendiz tenha em sua estrutura subsunçores pertinentes, com os quais o material possa ser relacionado. Em resumo: o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aluno, e este deve ter o conhecimento prévio necessário para relacionar o conhecimento novo de forma não arbitrária e não literal. Desta forma, evidencia-se a construção de um material didático (ou produto educacional) como parte dos objetivos desta proposta, justificando-a com base nas duas condições estabelecidas por Moreira para que a aprendizagem possa ocorrer de forma significativa.

Todavia, o material somente pode ser potencialmente significativo, e não significativo: não há livro significativo, nem aula significativa, o significado está nas pessoas, não nos materiais (LEBOEUF e BATISTA, 2013). Isto implica que "o verdadeiro aprendizado é causado pela ação do aprendiz, não do professor" (LEBOEUF e BATISTA, 2013 cita GOWIN)

logo, o conhecimento não é recebido passivamente pelo aluno, o conhecimento é construído ativamente pelo sujeito cognitivo.

Nesta perspectiva, a TAS evidencia uma teoria construtivista, uma vez que o sujeito é o elemento estruturante do seu próprio conhecimento, e o processo de aprendizagem significativa é construído e reconstruído cognitivamente pelo aluno, e sua mente deve estar ativa para que possa associar o novo conhecimento aos conhecimentos que já possui (VALADARES, 2011).

A aprendizagem significativa impõe que o aluno manifeste um "mecanismo (processo) de aprendizagem significativa", e para Ausubel (2003), existem quatro critérios que indicam o momento em que o aluno assumiu uma responsabilidade adequada em relação a aprendizagem:

- 1) Quando ele aceita a tarefa de aprender ativamente, tentando entender o material que lhe ensinam;
- 2) Ao tentar integrá-los aos conhecimentos que já possui;
- 3) Quando não evita o esforço por novas aprendizagens, não exigindo que o professor faça tudo por ele; e
- 4) Quando faz perguntas necessárias sobre o que não compreende. Estes mecanismos sugerem que a aprendizagem significativa, além de idiossincrática, é ativa, uma vez que é o aluno quem decide em que tipo de processo de aprendizagem irá se envolver: significativa ou mecânica, e qual será o nível de esforço que fará na construção de novos significados (LEBOEUF e BATISTA, 2013).

É importante ressaltar um fator que se evidencia a partir do processo da aprendizagem significativa: a progressividade da aprendizagem, ou seja, a aprendizagem decorre em função de um tempo, em um processo de estruturação e reestruturação cognitiva contínua, e não de forma linear. Isto significa que não se deve esperar que os alunos compreendam campos complexos de conhecimentos, com complexas relações entre conceitos de maneira significativa, se não lhe são fornecidas condições apropriadas para que ocorra este aprendizado.

3.2 Estratégias facilitadoras

O processo de ensino e aprendizagem, baseado nos pressupostos da aprendizagem significativa, implica na busca de estratégias que promovam a adoção e a consolidação de mecanismos de aprendizagem significativa por parte de alunos e professores. Isso requer uma análise crítica das práticas pedagógicas usualmente adotadas nas escolas e nos remete a uma aprendizagem que, além de significativa, deve ser crítica. Esta postura crítica envolve a tomada de decisão, consciente, sobre o que ensinar e como, levando em consideração o porquê e para quem ensinar, e com que tempo (LEBOEUF e BATISTA, 2013, p. 4).

Algumas estratégias e instrumentos podem ser potencialmente facilitadores da aprendizagem significativa, porém, para que possam promover esta aprendizagem, é necessário que sejam usados de forma adequada. Uma estratégia didática, instrumento, técnica ou método de ensino usados dentro de um enfoque comportamentalista, objetivando o certo e o errado, o sim ou não, provocará uma aprendizagem mecânica. Uma estratégia baseada no "copiar, memorizar e reproduzir" apenas irá estimular uma aprendizagem mecânica (MOREIRA, 2006).

Moreira ressalta ainda que "a facilitação da aprendizagem significativa depende mais de uma nova postura docente, de uma nova diretriz escolar, do que de novas metodologias, até mesmo as mais modernas tecnologias de informação e comunicação" (MOREIRA, 2010, p. 23).

Essa facilitação será ainda mais efetiva se incorporar "sobretudo de novas maneiras de avaliar", uma vez que no cenário atual da educação, o contexto é muito mais behaviorista do que construtivista e de certa forma ainda determina as práticas docentes. A sociedade em geral exige "provas" de que o aluno "sabe ou não sabe", e este tipo de avaliação comportamentalista promove a aprendizagem mecânica, uma vez que não entra no âmbito da compreensão.

Como a aprendizagem significativa é progressiva, é importante que o aluno refaça, mais de uma vez, se for o caso, as tarefas de aprendizagem. É fundamental que o aprendiz externalize os significados que estão assimilando, explique, justifique suas respostas. Moreira afirma que é "sem dúvida, bastante difícil a avaliação da aprendizagem significativa. Principalmente porque implica uma nova postura frente à avaliação. É muito mais simples a avaliação do tipo certo ou errado, mas o resultado é, em grande parte, aprendizagem mecânica" (MOREIRA, 2010, p. 24).

O tema relatividade tem despertado o interesse dos jovens atualmente, uma vez que se faz presente nas mídias e em filmes de ficção científica. Porém, sua abordagem em sala é

limitada, e uma das dificuldades de inserção deste tópico se refere à falta de material disponível em livros da rede pública de ensino.

Desta forma, foi elaborado um material didático (Apêndice 1) para atuar como facilitador na aprendizagem dos alunos, resultado de uma transposição realizada com objetivo de simplificar os conteúdos que normalmente são disponibilizados ao ensino superior. Desta forma, apresenta uma linguagem acessível com informações relevantes no ensino da Relatividade, além de ilustrações e exemplos relacionados ao cotidiano. Pode-se afirmar que se trata de um material potencialmente significativo, o qual foi disponibilizado aos alunos em cópia física, viabilizando o seu uso como ferramenta individual.

Foram inseridas diversas atividades ao longo das aulas, para que pudessem contemplar os diferentes níveis de cognição, necessários para que a aprendizagem significativa ocorresse de forma não arbitrária. Entre estas, as atividades em quadrinhos, com o objetivo de tornar o processo de ensino/aprendizagem mais lúdica e interessante aos alunos. A primeira relaciona-se com a Relatividade de Galileu (Apêndice 2) e a segunda acerca da Relatividade Restrita, com enfoque na dilatação do tempo (Apêndice 3).

Os slides (Apêndice 5) utilizados para nortear as aulas apresentaram mais imagens do que textos, para que pudessem promover uma maior conexão entre o conteúdo, a fim de estabelecer um elo entre as novas informações e os subsunçores dos estudantes.

As aulas visaram uma interação maior dos alunos com os slides, os quais possuíam recursos como vídeos curtos e animações. O uso destas ferramentas objetivou realizar questionamentos sobre o que os alunos previam e constatavam sobre as situações apresentadas.

Além das atividades, foi inserido o experimento da câmara de nuvens, no qual é possível detectar partículas cósmicas. A opção por realizar o experimento passou por profunda reflexão, uma vez que possui muitas dificuldades na observação dos traços formados pela interação das partículas com o vapor do álcool, possuindo muitos fatores desfavoráveis à sua implementação.

Porém, optou-se por executar o experimento em grupos, pois, caso não fosse possível a observação da interação das partículas com o vapor de álcool, ainda continuaria sendo uma forma válida de aprendizagem, seja ao contextualizar aspectos do desenvolvimento do estudo das partículas, ou em uma abordagem dos fatores que não tornaram possível sua visualização. O roteiro se encontra no Apêndice 4.

3.3 Física Moderna no ensino médio: o que dizem as pesquisas

Pesquisas na área do ensino de física com o tema FMC no Ensino Médio indicam que há uma discussão acerca da importância de abordar tais conteúdos na educação básica desde a década de setenta, em contrapartida, há poucas propostas testadas em sala de aula. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000).

Em uma pesquisa mais recente de Ostermann e Pereira (2009), na qual fizeram novamente um levantamento sobre dados mais atuais sobre a linha de FMC, indicaram a dificuldade do professor em transpor os conteúdos de FMC ao nível médio de ensino, um fator relevante que dificulta a inserção desses temas aos estudantes.

Além disso, atualmente observa-se nos currículos que a divisão da disciplina de Física no Ensino Médio privilegia os conteúdos de Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo nos materiais didáticos, sendo muito precários e semelhantes. Quando se pensa em uma seleção e divisão de conteúdos, deve-se ter em mente o critério utilizado para tal, de modo que a justifique. Para Terrazan (1992, p. 209) “infelizmente, não encontramos justificativas, ao menos explícitas, para essa divisão. Na verdade, ocorre que até o momento continuamos a seguir a mesma sequência ditada pelos manuais estrangeiros de ensino de Física utilizados no século passado”.

Uma consequência deste posicionamento é que toda a Física desenvolvida desde o início do século XX é excluída no Ensino Médio, e como consequência os alunos terminam os estudos sem conhecimentos dos desenvolvimentos recentes da Física Contemporânea.

Porém, é importante ressaltar que já se nota uma preocupação crescente, manifestada por alguns autores ou equipes de projetos de ensino, no sentido de se refletir sobre esta questão. “Podemos dizer que há, no momento, uma certa tendência em se pensar a atualização dos programas de ensino de física.” (TERRAZAN, 1992, p. 211).

Em se tratando dos conteúdos presentes no currículo que favorecem apenas os conceitos de FC, Ostermann e Moreira (2000) também apontam uma tendência de reforma curricular, e os poucos trabalhos realizados no sentido de mostrar o problema relacionado ao ensino e que levem propostas didáticas de FMC para sala de aula.

Uma vez compreendida a relevância do tema em sala de aula, é imprescindível que se pense na forma com que estes conteúdos serão abordados, uma vez que além de promover o

entendimento do mundo atual, a física moderna pode formar sujeitos conscientes e participativos, modificadores do meio em que vivem. Terrazan (1992, p. 211), sugere alguns pontos a serem usados como norteadores nesse processo, entre eles:

- A seleção do conteúdo deve ser baseada no equilíbrio entre as necessidades que a própria ciência física impõe para que haja consistência na apresentação dos tópicos e privilegie leis gerais e conceito fundamentais;
- Pensar nas possibilidades de desenvolvimento desses tópicos com poucas exigências de cálculo matemáticos;
- Inserção de temas relativos à Física Moderna e Contemporânea, como decorrência da discussão dos limites dos modelos clássicos.
- Ou apresentar os conceitos, os modelos e as teorias da Física Moderna, sem se fazer referência aos modelos e aos conceitos clássicos. Há autores que defendem essa ideia.

Qualquer redefinição ou redivisão dos conteúdos do Ensino Médio implica a rediscussão profunda do nível de profundidade dos temas abordados e que revelam a importância de análise das metodologias empregadas.

Ressaltando que, para alguns alunos, esses temas serão vistos nesta oportunidade apenas, tendo o primeiro e o único contato com o conhecimento de Física Moderna. Desse modo, a Física no contexto do Ensino Médio deve promover a reflexão e a interpretação do aluno acerca do mundo que o cerca. E para que haja tal processo, é determinante que a forma de abordagem dos conteúdos dialogue com o cotidiano dos estudantes (TERRAZAN, 1992).

3.4 Sequências didáticas

Uma sequência didática (daqui por diante SD), caracteriza-se por várias atividades embasadas de questionamentos, atitudes, procedimentos e ações que são executadas com a mediação do professor, a fim de que o aluno se aproprie de forma significativa dos conteúdos abordados.

Segundo Zaballa (1998, p. 15) as sequências didáticas são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”.

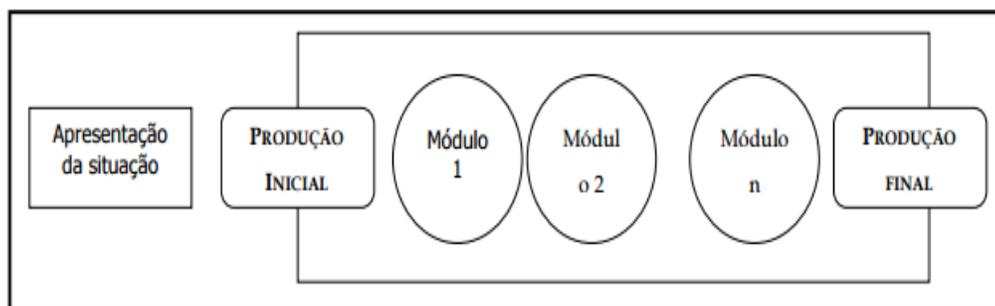
Logo, compreende-se uma SD como um conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa, para que ocorra aprendizagem em relação aos alunos. A SD lembra um plano de aula, porém é mais amplo e envolve um número maior de etapas (KOBASHIGAWA et al., 2008), uma vez que se promove uma organização de atividades em função de núcleos temáticos e procedimentais.

Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004, p. 97) definem uma sequência didática como “[...] um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito”. Uma SD tem como princípio uma condução metodológica de uma série de fundamentos teóricos que visam facilitar o processo de ensino aprendizagem.

Uma característica de uma sequência (unidade didática, unidade de programação ou unidades de intervenção pedagógica), é que essas unidades mantêm o caráter unitário e reúne toda a complexidade da prática, ao mesmo tempo em que são instrumentos que permitem incluir as três fases de toda intervenção reflexiva: planejamento, aplicação e avaliação (ZABALLA, 1998).

Para Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004), a estrutura de base de uma sequência didática pode ser representada pelo seguinte esquema:

Figura 1 - esquema de uma sequência didática.



Fonte: DOLZ, NOVERRAZ E SCHNEUWLY, 2004, p. 98.

A apresentação da situação: a primeira etapa é a apresentação do que será estudado, que deve ser claro e conciso, para que o aluno compreenda a situação e os objetivos que deverão atingir. Na apresentação da situação é necessário que os alunos percebam a importância dos conteúdos que serão abordados. Portanto, é importante fornecer aos alunos todas as informações necessárias para que conheçam o projeto visado e a aprendizagem que está relacionada (DOLZ,

NOVERRAZ e SCHNEUWLY, 2004).

Na primeira produção os alunos informam seus conhecimentos sobre o assunto, uma forma de avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes. Desta forma, há a possibilidade de fazer ajustes (se necessário) nas atividades propostas de acordo com o que os alunos já sabem. Esta avaliação também pode ser realizada durante o andamento das aulas, não necessariamente através de uma abordagem anterior às implementações, o que permite promover um número maior de conexões entre as novas informações e o que os estudantes já sabem.

Através dos módulos ocorre o desenvolvimento do processo de aprendizagem, com a apresentação dos conteúdos nas diversas formas de apresentação. O ideal é que este processo ocorra em etapas gradativas, do mais simples para o mais complexo, para que o aluno se aproprie dos conceitos e faça relações entre os conhecimentos, e isto se dá de forma progressiva.

Na produção final, última etapa, o professor tem a oportunidade de avaliar os avanços na aprendizagem dos alunos, observando os conhecimentos adquiridos (DOLZ, NOVERRAZ e SCHNEUWLY, 2004), bem como avaliar as limitações da sequência didática.

Para Zaballa (1998 p. 63), uma sequência didática deve responder algumas questões em relação às suas atividades, para que seja válida no processo de ensino aprendizagem:

- Existem atividades que permitam determinar os conhecimentos prévios dos alunos em relação aos novos conteúdos de aprendizagem?
- Os conteúdos são propostos de forma que sejam significativos a todos os alunos?
- As atividades são adequadas ao nível de desenvolvimento de cada aluno?
- As atividades representam um desafio alcançável, que permitam criar zonas de desenvolvimento proximal e intervir nessas?
- Atividades que provoquem um conflito cognitivo e promovam a atividade mental do aluno, e que possa então fazer relações entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos?
- Estratégias que promovam uma atitude favorável, ou seja, motivadoras em relação aos novos conteúdos?
- Estratégias que estimulem a autoestima e o autoconceito, ou seja, que o aluno possa sentir que aprendeu, que seu esforço valeu a pena?
- Atividades que auxiliem o aluno a adquirir habilidades relacionadas ao aprender a aprender, promovendo a autonomia em suas aprendizagens?

Neste contexto, uma SD deve conter estratégias com potencialidade para promover a aprendizagem significativa e também atenção à diversidade, uma vez que a aprendizagem é uma construção pessoal que cada sujeito realiza com o auxílio de um mediador. Ainda para Zaballa (1998, p. 63) a construção da aprendizagem “é um processo que não só contribui para que o aluno aprenda certos conteúdos, mas também faz com que aprenda a aprender, e que aprenda que pode aprender. Sua repercussão não se limita ao que o aluno sabe, igualmente influi no que sabe fazer e na imagem que tem de si mesmo”.

3.5 Teoria da Relatividade

3.5.1 Relatividade de Galileu e a Relatividade Clássica

A relatividade das leis da física não é um conceito moderno, Nicolau Copérnico mostrou, antes de Galileu e Newton, que os cálculos dos movimentos dos planetas seriam mais simples se tomasse o modelo aristotélico no qual a Terra era o centro do universo fosse reformulado, concebendo a ideia de que os planetas se movimentam em torno do Sol.

O fato de o Heliocentrismo não considerar a Terra no centro do universo implica que as mesmas equações obtidas na Terra seriam as mesmas obtidas em qualquer ponto tomado como centro. Esta invariância das equações da Física (as mesmas quando se realiza uma transformação entre sistemas de referência) é conhecida como Princípio da Relatividade (TIPLER e LLEWELLYN, 2006).

A relatividade é o campo de estudo relacionado à medida de eventos (acontecimentos), onde e quando estes ocorrem, e a distância que os separa no espaço e no tempo, bem como a relação entre referenciais que se movem um em relação ao outro (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Para compreender as leis do movimento, é necessário responder à questão: quais são os referenciais em que estas leis são válidas? A resposta é que essas leis apenas se aplicam apenas aos referenciais inerciais, ou seja, aos referenciais em que a lei da inércia é válida. As três leis de Newton, que explicam o movimento em sistemas mecânicos, não podem ser aplicadas em sistemas que possuem aceleração em relação à um referencial inercial. Conclui-se que nenhum sistema acelerado é um referencial inercial (TIPLER e LLEWELLYN, 2006).

Em sua obra “O Diálogo”, Galileu descreveu a ideia de que a Física é a mesma para

observadores que se deslocam uns em relação aos outros, em um movimento de translação uniforme, como pode ser percebido na passagem em que Salviati, um dos três personagens, diz:

Feche-se com um amigo em uma grande sala sob a ponte de um navio e arranje moscas a voar, borboletas e outros pequenos animais; tenha também um grande vaso com água contendo peixes; suspenda um balde cuja água cai gota a gota por um orifício no chão. Com o navio parado, observe cuidadosamente os pequenos animais a voar, os peixes a nadar com a mesma velocidade para todos os lados, as gotas caindo no vaso pousado no chão; e você mesmo lance ao seu amigo um objeto e verifique que o pode fazer com a mesma facilidade em uma e em outra direção, quando as distâncias são iguais e que, saltando a pés juntos, você atravessa espaços iguais em todos os sentidos. Quando tiver observado com cuidado todas essas coisas (embora não se duvide que tudo se passe assim com o navio parado) faça avançar o navio tão velozmente quanto queira, desde que o movimento seja uniforme sem oscilações para um lado e para o outro. Você não descobrirá nenhuma mudança em todos os efeitos precedentes e nenhum deles medirá se o navio está em marcha ou está parado (...), e a razão pela qual todos esses efeitos permanecem iguais é que o movimento é comum ao navio e a tudo que ele contém, incluindo o ar (GALILEU citado por CARUSO e OGURI, 2006, p. 187).

Há então, um princípio de equivalência entre dois referenciais que se movem com velocidade constante em relação à um referencial inercial, e todos os referenciais inerciais são equivalentes. Esta é a base do princípio da relatividade de Galileu, o qual implica o abandono de qualquer possibilidade de movimento absoluto. “Se as leis da Mecânica são válidas em um dado referencial, então são igualmente válidas em qualquer outro referencial que se mova em translação uniforme em relação ao primeiro”. (CARUSO e OGURI, 2006, p. 187).

A mecânica de Newton admitia, apesar do caráter absoluto do espaço e do tempo, que as medidas absolutas sobre o movimento não poderiam ser observadas e as leis da Mecânica se referiam a intervalos espaciais e não temporais relativos ao “movimento dos corpos encerrados em um dado espaço são os mesmos entre si, esteja esse espaço em repouso ou se movendo uniformemente em uma linha reta sem qualquer movimento circular” (CARUSO e OGURI, 2006, p. 188).

Ainda no âmbito da questão, Einstein (2013) afirma que o Princípio da Inércia é uma lei básica da Mecânica de Galileu e Newton, a qual diz que um corpo afastado o bastante de outros corpos permanece em repouso ou em movimento linear uniforme. Porém, se considerar, por exemplo, o movimento das estrelas “fixas” e aplicar o sistema de coordenadas em relação à Terra, o movimento descrito será, ao final de um dia astronômico, um círculo, o que contradiz o enunciado do Princípio da Inércia.

As equações denominadas transformações de Galileu implicam que “as escalas de

tempo não dependem do referencial, isto é, o intervalo de tempo de um evento medido em referenciais distintos é invariante”, o que significava que os tempos medidos por todos os observadores era o mesmo (CARUSO e OGURI, 2006, p. 188).

Isto pressupõe que relógios sincronizados em um dado instante permanecem sincronizados, mesmo que passem a se deslocar um em relação ao outro. A invariância do sincronismo, com relação a observadores em diferentes referenciais subentende a existência de uma escala de tempo universal.

Em 1905, Einstein propôs a TRR, e o termo restrita se refere a referenciais inerciais, ou seja, os referenciais em que as leis de Newton são válidas. A Teoria da Relatividade Geral é mais complexa, pois se aplica em situações nas quais os referenciais podem sofrer uma aceleração gravitacional (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Einstein mostrou, em dois postulados, que o espaço e o tempo estão interligados, o intervalo de tempo entre dois eventos depende da distância que os separa e vice-versa.

3.5.2 Relatividade Einsteniana

Albert Einstein nasceu em Ulm, Alemanha, em 1879, e no ano seguinte mudou-se com sua família para Munique, onde seu pai Hermann abriu uma empresa no ramo elétrico até que, em 1894, os negócios de seu pai fracassaram e acabaram se mudando para Milão (HAWKING, 2001).

Einstein terminou sua graduação em Zurique, na Escola Politécnica Federal (ETH-Eidgenössische Technische Hochschule) em 1900, e “sua natureza inquiridora e sua aversão à autoridade não o tornaram benquisto pelos professores da ETH, uma vez que nenhum deles lhe ofereceu o cargo de assistente, o caminho normal para uma carreira acadêmica” (HAWKING, 2001, p. 4). Desde essa época já estava preocupado com os fundamentos da Física teórica, testando os pressupostos da FC e começando a sugerir modificações em seus fundamentos (STACHEL, 2004).

Após dois anos, conquistou uma vaga de assistente no departamento suíço de patentes, em Berna, e foi neste período que escreveu os três artigos que fizeram de Einstein um dos maiores cientistas do mundo, e iniciaram duas revoluções conceituais que transformaram a visão do mundo acerca do tempo, do espaço e da própria realidade (HAWKING, 2001).

As ideias de Einstein não nasceram no ano de 1905, mas muito tempo antes, seus

trabalhos publicados nesse ano foram frutos de muito trabalho prévio (CARUSO e OGURI, 2006). A gênese da teoria da relatividade (TRR) é objeto de estudo em muitas investigações históricas e filosóficas, tanto pela relevância e o fato de ser atual, mas também pela riqueza de material disponível, o que de certa forma tem ocasionado diferentes interpretações (VILLANI, 1985).

Segundo o próprio Einstein, a origem da teoria da relatividade restrita se deu devido a duas vertentes: as contradições entre as transformações de Galileu e os fenômenos eletromagnéticos; e as incoerências da mecânica clássica, no que diz respeito as ideias do espaço e tempo absolutos. O primeiro caso se relaciona com o experimento mental que atormentou Einstein desde os 16 anos, em que um viajante acompanha uma onda eletromagnética, e percebe um campo elétrico e um campo magnético variando no espaço senoidalmente, mas de forma constantes no tempo “a teoria da relatividade restrita se originou das equações de campo eletromagnético de Maxwell” (EINSTEIN citado por SILVEIRA e PEDUZZI, 2006).

Um fato que tem chamado a atenção dos historiadores e epistemólogos é a relação entre a TR e a Teoria do Elétron (TE) de Lorentz. Há duas tendências nesse sentido, a de continuidade entre as duas teorias e a outra as que marcam as diferenças entre elas (VILLANI, 1985).

A construção da TR não foi um processo simples, e apesar das informações a respeito de sua elaboração serem conflitantes, Villani (1985, p. 63), destaca duas etapas na formulação dessa teoria:

- Einstein se debruçou sobre a Teoria do Elétron, antes de 1905, e concluiu que essa teoria não era o suficiente para explicar o fenômeno da radiação do corpo negro, propondo uma hipótese sobre a luz, que divergia das explicações vigentes: a hipótese do quantum de luz.
- Einstein não estava satisfeito com o caráter dual entre o campo contínuo e partícula discreta e também com aspectos da teoria de Lorentz, propondo então uma teoria de “princípio” que abrangesse todos os resultados da Teoria do Elétron sem comprometer a estrutura da matéria.

No final do século XIX, a visão que se tinha da natureza era de massas inerciais, discretas ou contínuas, que se movimentavam segundo as leis da mecânica, e a natureza da matéria como sendo corpuscular, relatadas no Princípios, de 1687 (NEWTON, 2008), leis essas

que eram submetidas a forças de contato ou à distância, e estavam sendo remodeladas segundo uma visão eletromagnética.

Nesta perspectiva, haviam duas realidades físicas, o éter e as cargas elétricas e de como o éter interagia com as cargas sob influência das leis de campos eletromagnéticos, além da questão de quais seriam suas propriedades (VILLANI, 1985; VELARDE, 2002).

Villani (1985, p. 60) ainda destaca que o modelo de Lorentz teve sua última versão em 1904, com as seguintes hipóteses:

- a) O elétron esférico em movimento se deforma como qualquer corpo;
- b) Todas as forças não elétricas são influenciadas pelo movimento, assim como as forças eletrostáticas entre elétrons;
- c) A massa do elétron é totalmente de origem eletromagnética e o único momento linear que existe é o momento eletromagnético;
- d) A influência do movimento sobre as dimensões dos corpos é somente na direção do movimento;
- e) As massas de todas as partículas variam da mesma maneira que a massa do elétron.

Sobre a relevância da teoria proposta por Lorentz, afirma Villani

A Teoria do Elétron de Lorentz constitui o coroamento de um grande esforço científico de síntese entre a teoria eletromagnética de Maxwell e a concepção atômica da matéria. O resultado deste esforço, foi a concretização de uma nova visão de mundo diferente da mecanicista. Isto aparece com evidência ao analisarmos as várias formulações de 1892 até 1906: nelas encontramos o progressivo desaparecimento das noções mecânicas, como fundamentais, substituídas pelas noções eletromagnéticas (VILLANI, 1985, p. 56).

A teoria de Lorentz estava em desacordo com a terceira lei de Newton, pois na mecânica clássica, o princípio de ação e reação pode ser deduzido com a conservação de energia e com o princípio do movimento relativo (Newton, 2008). Entretanto, na teoria de Lorentz a energia não era conservada, o princípio da relatividade clássico também, e o princípio de ação e reação era violado (VILLANI, 1985).

Antes de concluir sua Teoria, Lorentz enfrentava ainda mais dificuldades, uma vez que nos experimentos realizados até então, o éter não havia sido detectado (STACHEL, 2004). O problema com o éter começou a surgir quando, em suas propriedades fundamentais, necessariamente deveria apresentar comportamento ora de alta rigidez para poder transmitir ondas transversais luminosas com altíssimas velocidades, e por outro lado deveria ser atravessado

facilmente pelos planetas e outros corpos celestes em movimento, sem que se detectasse nenhum “vento”, apresentando assim grande fluidez.

Surgiram muitos experimentos com o objetivo de que o éter fosse detectado e nenhum êxito nesse sentido. O mais conhecido foi o interferômetro, construído por Michelson e Morley, devido a precisão do arranjo e dos dados obtidos. Mas a ideia do éter não foi algo que incomodou Einstein

Firmemente convencido da não existência do movimento absoluto; meu problema residia em como conciliar isso com nosso conhecimento de eletrodinâmica. Talvez assim seja possível entender porque razão, na minha luta pessoal, não desempenhou qualquer papel, ou pelo menos um papel decisivo, a experiência de Michelson (EINSTEIN citado por SILVEIRA e PEDUZZI, 2006).

Desta forma, de uma maneira epistemológica, percebe-se uma evidência de que o experimento do interferômetro realizado por Michelson e Morley não foi um fator determinante na gênese da teoria da relatividade de Einstein. Nos artigos sobre a estrutura quântica da radiação, movimento browniano e a eletrodinâmica dos corpos em movimento Einstein destaca uma assimetria entre os fenômenos, ou incongruências de origem estética, e não determinados por fatos experimentais não explicados. Este fato explicita a visão empírico-indutivista ainda pertinente no meio acadêmico, a qual define que a teoria da relatividade restrita foi uma resposta aos experimentos de Michelson e Morley.

“Mas o vínculo genético da teoria de Einstein com o experimento de Michelson-Morley é fruto de uma história mal contada. Quanto ao próprio Einstein, reiteradas vezes, em livros, artigos, cartas e entrevistas, ele afirmou que considerava a teoria da Relatividade especial como uma “evolução, não uma revolução da ciência da dinâmica; como um desenvolvimento sistemático da eletrodinâmica de Maxwell e Lorentz, mas que, mesmo assim, apontou para além dela mesma” (PEDUZZI, 2015, p. 3)

O experimento do interferômetro, por outro lado, desempenhou um papel importante na aceitação da teoria da relatividade restrita junto à comunidade científica, fato reconhecido por Einstein. (VILLANI, 1981, p. 38).

O resultado negativo a detecção do éter de Michelson-Morley levou George Francis FitzGerald e H. A Lorentz a seguirem perspectivas independentes, chegando à conclusão de que as dimensões dos corpos rígidos se modificam como consequência ao movimento que realizam através do éter (PEDUZZI, 2015). Devido a isto, os experimentos não conseguiriam detectar o tal

“vento”, sendo assim, o resultado obtido com o interferômetro não conteria nenhum erro, e assim se conservaria a ideia da existência do éter. Para isto, dever-se-ia admitir que o movimento de um corpo sólido, em movimento através do éter em repouso absoluto, tem suas dimensões influenciadas, as quais variam com a orientação do corpo em relação à direção do movimento.

Dever-se-á, com base nesse resultado, aceitar que o éter toma parte no movimento da Terra e, deste modo, que a teoria da aberração de Stokes é a teoria correta? As dificuldades que esta teoria encontra na explicação da aberração parecem-se demasiado grandes para poder aceitar esta opinião e, pelo contrário, levaram-me antes a procurar a maneira de remover a contradição entre a teoria de Fresnel e o resultado de Michelson. Consegui isso com uma hipótese que tinha apresentado algum tempo antes e que, como depois vim a saber, também ocorrera a FitzGerald (LORENTZ citado por PEDUZZI, 2015, p. 157).

No artigo o “O éter e a atmosfera terrestre”, escrito em 1889, FitzGerald diz que “parece ser uma suposição não improvável que as forças moleculares sejam afetadas pelo movimento (relativo ao éter) e que, em consequência, o tamanho do corpo se altere” (PEDUZZI, 2015, p. 158).

Considerando a teoria de Lorentz, a qual diz que o deslocamento da matéria em relação ao éter, altera as dimensões dos corpos em movimento, Poincaré revisita a terceira lei de Newton e a sua validade quando aplicada a matéria sozinha, uma vez que a soma geométrica de todas as forças sobre as moléculas materiais seria diferente de zero. Para que essa contração estivesse em concordância com a terceira lei de Newton, Poincaré admite que a existência do éter é absolutamente necessária. “Para que essa ação que a matéria pareceria sofrer fosse contrabalançada pela reação da matéria sobre alguma coisa” (POINCARÉ citado por PEDUZZI, 2015, p. 163).

Poincaré enuncia então o princípio da relatividade em 1904: “não há um referencial em especial, mas sim uma classe de referenciais igualmente bons para a descrição dos fenômenos físicos: aqueles que se movimentam em translação uniforme em relação aos outros” (PEDUZZI, 2015, p. 164.)

Esta era mais uma afirmativa a um confronto com a mecânica clássica, ao propor que um corpo sofre contração na direção do seu movimento, contrariando as transformações de Galileu - a qual afirma que um corpo não sofre variação no seu comprimento em diferentes referenciais inerciais - impondo assim um limite de velocidade a qual um corpo pode atingir, a velocidade da luz (PEDUZZI, 2015).

Em se tratando da relatividade restrita, a contração é um efeito aparente, e isto se deve ao movimento relativo entre o objeto e o observador, ou seja, não há diminuição nas dimensões do objeto. Para Einstein, é justamente a relatividade do movimento entre dois observadores que faz com que um atribua ao outro um efeito de contração na direção do movimento (PEDUZZI, 2015).

Na tentativa de tornar a teoria eletromagnética a base da Física, capaz de explicar questões sobre a influência do movimento absoluto, Lorentz e colaboradores tentaram essa abordagem diferente da mecânica newtoniana.

Esse afastamento da visão mecanicista da natureza ocorreu segundo duas tendências fundamentais: a primeira ao nível das leis físicas, com a modificação ou abandono de algumas leis da mecânica newtoniana; e a segunda ao nível da constituição do éter, com o abandono do modelo no qual o éter seria formado de partículas interagindo, e adotando um éter contínuo, que preenchia o espaço como um todo, desse modo permitiria a transição contínua das forças eletromagnéticas e “moleculares” (VILLANI, 1985).

É nesse contexto que se encontram as raízes da teoria da relatividade especial, de Albert Einstein (1879-1955), publicada no volume XVII da revista *Annalen der Physik*, em junho de 1905.

Em relação ao movimento, o diferencial entre as interpretações de Poincaré e Einstein está no fato de o primeiro interpretar o tempo local como sendo o tempo marcado em relógios em repouso em um referencial se movendo pelo éter, e se estivessem sincronizados, a velocidade da luz seria a mesma em todos os referenciais inerciais, o que contradiz as bases da cinemática. Einstein abandona a ideia do éter, e afirma que se os relógios estão sincronizados em cada referencial inercial, e aceita que a velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais inerciais, quando medida em relógios sincronizados, e a diferença entre elas é sutil (STACHEL, 2004).

Esse comportamento da luz descrita por Einstein, e que iria contra a relatividade de Newton, acabou se confirmando não somente para os processos mecânicos, mas também para os processos eletromagnéticos e ópticos (VELARDE, 2002).

Ao considerar a velocidade da luz constante e independente do movimento do observador, Einstein indicava também que as ideias de que o tempo é o mesmo para todos os relógios deveria ser abandonada, pois seria o mesmo apenas para observadores que estivessem em repouso um em relação ao outro, mas se estivessem em movimento, essa premissa deveria ser

alterada (HAWKING, 2001).

Einstein abandonou o éter e o como se: Simplesmente sincronize relógios em cada referencial inercial pela convenção de Poincaré e aceite que a velocidade da luz seja, de fato, a mesma em todos os referenciais inerciais, quando medida com relógios assim sincronizados. Obviamente, a Lei galileana de adição de velocidades não pode mais valer e isso implica que uma nova cinemática é requerida. Einstein mostrou como estabelecer tal cinemática, a qual nós, agora, chamamos de relatividade especial". (STACHEL, 2004, p. 8).

Embora Poincaré tenha anunciado o princípio da relatividade antes de Einstein, suas concepções diferem no significado da sua origem. Para Poincaré, não é uma construção definitiva, ou seja, sendo um fato experimental necessita de revisão permanente. Para Einstein, o princípio da relatividade é um pressuposto fundamental em sua teoria, não podendo ser questionado pelo menos por hora. Outra diferença que evidencia as duas concepções é que assim como Lorentz, Poincaré nunca desistiu do éter.

Para Poincaré, o experimento é imprescindível na busca por verdades na ciência, como explica em "A ciência e a hipótese": "fazemos ciência com fatos assim como construímos uma casa com pedras, mas uma acumulação de fatos não é ciência assim como não é uma casa um monte de pedras" (Poincaré citado por Peduzzi, 2015, p. 163).

O contrário de Poincaré, Einstein acredita que as bases da física não podem ser obtidas através da experiência, não há caminho lógico que conduza das percepções aos princípios de uma teoria. Para Einstein, os fundamentos de uma teoria científica são livres criações do espírito humano:

Sabemos agora que a ciência não pode se desenvolver apenas a partir do empirismo; nas construções da ciência, precisamos da invenção livre, que só a posteriori pode ser confrontada com a experiência para se reconhecer sua utilidade. Este fato pode ter escapado às gerações anteriores, para as quais a criação teórica parecia desenvolver-se indutivamente a partir do empirismo, sem a criativa influência de uma livre construção de conceitos. Quanto mais primitivo for o estado da ciência, mais rapidamente pode o cientista viver na ilusão de que é um empirista puro. No século XIX, muitos ainda julgavam que a regra fundamental de Newton- 'Hypotheses non fingo' - devia constituir a base de toda a ciência natural saudável. (EINSTEIN citado por PEDUZZI, 2006, p. 40).

Mesmo deixando questões sem respostas, como a termodinâmica da radiação, Lorentz e a sua teoria tiveram papel de extrema importância no desenvolvimento da Física, com uma inicial ruptura com a mecânica newtoniana, deixando assim espaço para que pudesse se

desenvolver independentemente de uma teoria vigente, ou seja, abriu uma porta para o desenvolvimento de duas teorias que revolucionaram a ciência e a visão do mundo: a relatividade e a teoria quântica.

A teoria de Lorentz havia ainda deixado questões em aberto, como a natureza das forças não eletromagnéticas que compensavam a repulsão eletromagnética, e mantiam o elétron estável como uma partícula, a incorporação das forças gravitacionais à teoria eletromagnética e a relação entre elétron e a termodinâmica da radiação (VILLANI, 1985).

O problema da radiação do corpo negro também preocupou Einstein, que estudou o fenômeno durante muito tempo, apesar de publicar pouco a respeito. Sua preocupação com os problemas da radiação térmica o levaram a conclusão de que nem a mecânica clássica nem a eletrodinâmica de Maxwell estavam acabadas, e teriam que ser modificadas para que fossem em concordância com a descoberta de Planck do quantum de ação (STACHEL, 2004). Em relação a essa reformulação das teorias vigentes em detrimento do novo fenômeno observado e as interpretações que as explicam, para o caso da radiação térmica, afirma Stachel (2004, p. 8) que “a explicação das leis da radiação térmica e da troca de energia entre matéria e radiação requereriam teorias quânticas da matéria e da radiação. Foi somente esse aspecto de seu trabalho que Einstein caracterizou em 1905 como ‘muito revolucionário’”.

Uma parcela da teoria da relatividade de Einstein se deve, em parte, através da obra de Poincaré (Ciência e Hipótese), na qual começou a pensar a radiação como um sistema termodinâmico em equilíbrio e tentou então relacionar com seus conhecimentos sobre termodinâmica para resolver o problema. E foi isso que Einstein fez, observando através dos resultados que obteve ao relacionar a termodinâmica ao comportamento da radiação de corpo negro, que os sistemas moleculares entravam em conformidade com os cálculos acerca da radiação eletromagnética (VILLANI, 1985).

Tratando-se do primeiro postulado, no artigo escrito em 1905, ano que ficou conhecido como *annus mirabilis* (STACHEL, 2004), Einstein propunha que, se uma pessoa não conseguisse determinar se ela se movia ou não no espaço, a ideia do éter era desnecessária. Partindo do postulado que as leis da ciência deveriam parecer as mesmas para todos os observadores em movimento (VELARDE, 2002), Einstein escreve esse artigo, indicando que, singularmente, todos os observadores deveriam medir a mesma velocidade da luz, independente do movimento em que estão, ou seja, a velocidade da luz não depende do movimento do

observador, é a mesma em todas as direções (HAWKING, 2001).

Este postulado foi a base da teoria da relatividade, assim denominada por ressaltar a importância do movimento relativo (HAWKING, 2001).

O nome teoria da relatividade está ligado ao fato de que o movimento, do ponto de vista da experiência possível, aparece sempre como o movimento relativo de um objeto em relação a outro... O movimento jamais é observado como movimento em relação ao espaço, ou, como já se expressou, como movimento absoluto. O princípio da relatividade, em seu sentido mais amplo, está contido na afirmação: a totalidade dos fenômenos físicos é de caráter tal que não fornece base para a introdução do conceito de movimento absoluto; ou, de forma mais breve mas menos precisa: não há movimento absoluto (EINSTEIN citado por PEDUZZI, 2015, p. 181).

No primeiro artigo que escreveu, sobre o quantum, Einstein sugeriu que a radiação eletromagnética na região de alta frequência poderia ser interpretada como “quanta de luz”, o que foi considerado na época uma ideia radical e não muito considerada no âmbito científico.

Então, Einstein passou a empregar a hipótese do quantum aos sólidos cristalinos, sendo formados por um conjunto de partículas que oscilavam em torno de suas posições de equilíbrio, com energias quantizadas. Desta forma explicou uma questão que há muito tempo atormentava os cientistas em relação ao baixo calor específico para esses sólidos a baixas temperaturas. Na verdade, “foi a bem-sucedida verificação experimental da fórmula de Einstein para o calor específico que primeiramente trouxe a Teoria Quântica à atenção da maioria dos físicos, e o ajudou a obter um convite para Berlim” (STACHEL, 2004, p. 8).

O princípio da Relatividade, ou seja, a democracia de todos os referenciais inerciais, que na Teoria de Newton só é válida para fenômenos mecânicos, é legítimo a partir de Einstein, para todos os fenômenos, principalmente para todos os fenômenos ópticos e eletromagnéticos (STACHEL, 2004).

Em todos os sistemas de coordenadas em que são válidas as equações da mecânica, são também igualmente válidas às leis da óptica e da eletrodinâmica. Vamos erguer à categoria de postulado esta nossa suposição (a cujo conteúdo chamaremos, daqui em diante, Princípio da Relatividade). Além disso, vamos introduzir o postulado – só aparentemente incompatível com o primeiro – de que a luz, no espaço vazio, propaga-se sempre com uma velocidade determinada, independente do estado de movimento da fonte luminosa. Estes dois postulados são suficientes para chegar a uma eletrodinâmica dos corpos em movimento, simples e livre de contradições, baseada na teoria de Maxwell para corpos em repouso. A introdução de um éter luminífero revelar-se-á supérflua, visto que na teoria que vamos desenvolver não necessitaremos de introduzir um espaço em repouso absoluto nem de atribuir um vetor velocidade a qualquer ponto do espaço vazio em que tenha lugar um processo eletromagnético (EINSTEIN citado por

PEDUZZI, 2015, p. 180).

Assim como a Lei galileana de adição de velocidades é baseada no tempo absoluto da cinemática, a nova Lei (relatividade especial) de adição de velocidades é a base de uma nova cinemática, fundamentada nos tempos relativos de cada referencial inercial (STACHEL, 2004). Especificando: “as leis gerais da natureza são covariantes em relação às transformações de Lorentz” (EINSTEIN, 2013, p. 57).

Com seus postulados, Einstein derruba a ideia do repouso absoluto, representado pelo éter, e o tempo absoluto ou universal, que seria medido em todos os relógios (Hawking, 2001), reestruturando uma área da física, baseando-se nas interpretações de Lorentz e Poincaré sobre o tempo (STACHEL, 2004), e a hipótese da contração dos corpos em movimento.

Mais tarde, Einstein resolve o conflito da relatividade restrita com a gravitação newtoniana, no que diz respeito a propagação de qualquer informação não poder ser maior que a velocidade da luz, através da relatividade geral (PEDUZZI, 2015).

Uma das consequências da TR é a relação entre a massa e a energia, surgindo então a Relatividade Geral. Em seu postulado, em que a velocidade da luz deve ser a mesma para todos, implica que nada pode ter velocidade maior que a da luz. Quando se tenta acelerar uma partícula até a velocidade da luz, sua massa aumenta, sendo cada vez mais difícil aumentar a sua aceleração, ou seja, massa e energia são equivalentes ($E=m.c^2$). Uma implicação dessa relação é que se um núcleo de um átomo de Urânio, por exemplo, sofrer fissão em dois núcleos com massa total ligeiramente menor, uma enorme quantidade de energia é liberada.

Em 1939, com a perspectiva de uma nova guerra mundial, um grupo de cientistas percebeu a potencialidade dessa relação, persuadiu Einstein a escrever uma carta ao presidente Roosevelt para iniciar um programa de pesquisa nuclear. Foi então criado o projeto Manhattan, que levou a construção das bombas que explodiram em Hiroshima e Nagasaki, em 1945 (HAWKING, 2001).

Uma implementação realizada com uma turma do Ensino Médio, com enfoque nas concepções sobre o tempo em uma integração como o tempo relativístico, Karam; Cruz e Coimbra (2006), foi introduzida após o contato dos alunos com a cinemática. O efeito conhecido como dilatação temporal foi abordado tanto através de argumentos teóricos, como em menções dos resultados experimentais. Esse estudo revelou que os alunos manifestaram uma resistência à aceitação do tempo relativístico, justificando com concepções clássicas, evidenciando dessa

forma um processo de conflito conceitual e epistemológico.

4 METODOLOGIA

Entende-se por metodologia o caminho do pensamento e a prática exercida na abordagem da realidade, “[...] incluindo as concepções teóricas de abordagem, o conjunto de técnicas que possibilitam a construção da realidade e o sopro divino do potencial criativo do investigador” (MINAYO, 1994, p. 16).

Para a mesma autora, a metodologia contempla a fase de exploração de campo (escolha do espaço da pesquisa, escolha do grupo de pesquisa, estabelecimento dos critérios de amostragem e construção de estratégias para entrada em campo) e também define instrumentos e procedimentos para a análise dos dados. Indica ainda os principais elementos da metodologia:

- a) Definição da amostragem, a qual não se limita a critérios numéricos, mas descreve quem são os indivíduos vinculados ao problema a ser investigado;
- b) Coleta de dados, momento no qual se define as técnicas a serem utilizadas tanto para a pesquisa de campo, sendo interessante anexar ao projeto os roteiros utilizados em campo;
- c) Organização e análise de dados, com descrição clara de como os dados serão organizados e analisados.

Desta forma, buscou-se neste texto explicitar os métodos e os critérios utilizados para a construção da investigação de uma pesquisa de caráter qualitativo, tais como: critérios para seleção de amostragem, quais serão as técnicas utilizadas para a pesquisa de campo e obtenção dos dados e de que forma será realizada a análise dos elementos coletados.

4.1 Descrição da pesquisa

Segundo Gil (2007, p. 17), pesquisa é definida como o “[...] procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados”.

A presente pesquisa se caracteriza por uma abordagem qualitativa, não considera representatividade numérica, mas se preocupa no aprofundamento da compreensão de um grupo social. Neste modelo de pesquisa, o pesquisador é ao mesmo tempo sujeito e objeto de sua pesquisa, e tem por objetivo produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que produza novas informações (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Minayo (1994), a pesquisa qualitativa envolve um universo de significados, motivos, aspirações, valores e atitudes, correspondendo a um espaço profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de nenhuma variável.

Moreira (2011) recorre sobre a pesquisa qualitativa em suas características

O interesse central dessa pesquisa está em uma interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos à suas ações em uma realidade socialmente construída, através de observação participativa, isto é, o pesquisador fica imerso no fenômeno de interesse. Os dados obtidos por meio dessa participação ativa são de natureza qualitativa e analisados de forma correspondente. As hipóteses são geradas durante o processo investigativo. O pesquisador busca universais concretos alcançados através do estudo profundo de casos particulares e da comparação desse caso com outros estudados também com grande profundidade. Através de uma narrativa detalhada, o pesquisador busca credibilidade para seus modelos interpretativos (MOREIRA, 2011, p. 76).

Uma pesquisa qualitativa ainda pode ser definida como a atividade básica da ciência relacionada ao questionamento que se faz da realidade. É a investigação da pesquisa qualitativa que sustenta a atividade de ensino e a atualiza da realidade do mundo. Mesmo se caracterizando como uma prática teórica, a pesquisa une pensamento e ação, “ou seja, nada pode ser intelectualmente um problema, se não tiver sido, em primeiro lugar, um problema da vida prática” (MINAYO, 1994, p. 17).

Os principais aspectos da pesquisa qualitativa são: objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de descrever, compreender, explicar, precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Bogdan e Biklen (1994, p. 47), uma pesquisa de caráter qualitativo tem as seguintes características, podendo não contemplar todos os itens, sendo assim, parcialmente qualitativa. A fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal; os dados podem ser obtidos através de vídeos, áudios ou bloco de notas, e são complementados com informações obtidas através do contato direto.

A investigação qualitativa é descritiva; os dados obtidos são dispostos em forma de

palavras ou imagens, e não de números. Os dados incluem transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais e registros oficiais, entre outros. Os elementos que constituem o objeto de estudo são todos relevantes, ou seja, não há elemento trivial, o todo que se observa tem potencial para se tornar uma pista para a compreensão do objeto de estudo. “Por que é que estas carteiras estão arrumadas desta maneira? Por que é que algumas salas estão decoradas com gravuras e outras não? Por que é que determinados professores se vestem de maneira diferente de outros? [...] por que é que há uma televisão na sala se nunca é utilizada?” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 49).

Os investigadores qualitativos se interessam mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados obtidos. “Como é que as pessoas negociam os significados? [...] como é que determina noções que começaram a fazer parte daquilo que consideramos ser o “senso comum?” Qual história natural da atividade ou acontecimentos que pretendemos estudar?” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 49).

Além disto, os investigadores qualitativos tendem a analisar seus dados de forma indutiva; não recolhem dados ou provas com o objetivo de confirmar ou infirmar hipóteses construídas previamente: as abstrações são construídas à medida em que os dados recolhidos são agrupados.

O significado é de suma importância na abordagem qualitativa; os investigadores se interessam nas perspectivas dos sujeitos em relação ao campo de estudo, estão continuamente a questionar os sujeitos de investigação, com o objetivo de perceber o modo como eles interpretam suas experiências.

Minayo (1994, p. 32) também define a construção de uma pesquisa investigativa em várias fases:

1. A escolha do tópico de investigação;
2. A delimitação do problema;
3. A definição do objeto e dos objetivos;
4. A construção do marco teórico conceitual;
5. A escolha dos instrumentos de coleta de dados;
6. A exploração de campo.

A condução das fases da pesquisa deve ser realizada com atenção, para que a investigação se torne efetiva e sem muitas dificuldades. Essas etapas compreendem a fase exploratória da

pesquisa qualitativa. A fase exploratória é baseada em alguns fundamentos, sendo eles: a pesquisa bibliográfica; articulação criativa e humildade.

A pesquisa bibliográfica disciplinada, crítica e ampla com a finalidade de estabelecer um diálogo entre a teoria e o problema da pesquisa; a articulação criativa, tanto na delimitação do objeto de pesquisa quanto na aplicação de conceitos; havendo humildade, ao reconhecer que o conhecimento científico tem sempre um caráter: aproximado (a partir dos outros conhecimentos); provisório; inacessível (imprecisões quanto à realidade); vinculada à vida real e condicionado historicamente.

Um projeto de pesquisa é realizado pelo pesquisador a fim de mapear um caminho que será seguido durante a investigação. Deste modo busca-se evitar imprevistos no decorrer da pesquisa que podem tornar inviável a sua execução (MINAYO, 1994).

Esta investigação se caracteriza como uma pesquisa qualitativa, e uma das técnicas que serão utilizadas para coleta de informações se efetivou através da observação participante (TRIVIÑOS, 1987), na qual o foco de exame é uma turma do segundo ano do ensino médio em uma escola pública, através de uma sequência didática.

Posteriormente foram implementados dois questionários, o primeiro para avaliação de relações de significados que os alunos estabeleceram após as aulas, e o segundo para avaliação das concepções formadas acerca das aulas propostas.

A amostra foi selecionada seguindo o Parâmetro de Amostras não Probabilísticas por Conveniência, o qual se caracteriza pelas amostras serem selecionadas por critérios subjetivos do pesquisador, de acordo com sua experiência ou com os objetivos do estudo, sendo um dos critérios mais utilizados na pesquisa de natureza qualitativa. Para este trabalho, o critério se deu por conveniência, ou seja, a facilidade de acesso da instituição pela investigadora, pela proximidade.

4.2 Fontes de informação e coleta de dados

Para Bogdan e Biklen (1994), o plano geral de uma pesquisa configurada como qualitativa pode ser representado como um funil. O início deste tipo de pesquisa é a extremidade mais larga do funil, no qual os investigadores procuram pelos locais ou pessoas que possam vir a ser o objeto de estudo. Há então a fase na qual o pesquisador procura indícios de como proceder e qual método de estudo se encaixa melhor. Após isto, os dados são explorados e as decisões são tomadas de acordo com os objetivos da pesquisa.

A presente pesquisa se efetivou em uma turma de segundo ano noturno de uma escola pública estadual, e a sequência didática foi implementada durante a unidade curricular ESR - II (Estágio de Regência II), no oitavo módulo do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza com Habilitação em Física, no ano de 2017. Desta forma essa investigação se configura como uma pesquisa qualitativa com características de observação participante, em que os sujeitos relacionados aos objetos do estudo da investigação serão os alunos.

Para auxiliar na coleta de dados, optou-se pela utilização de um diário de bordo, que terá como objetivo a descrição de alguns dados obtidos durante as intervenções e também após as observações, pois segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 150), ao analisar o que foi observado, em notas de campo, “o investigador registrará ideias, estratégias, reflexões e palpites, bem como os padrões que emergem”. Ou seja, as notas de campo se caracterizam por um relato do que o investigador vê, pensa e observa durante as intervenções, e reflete sobre os dados de um estudo qualitativo.

Como já mencionado anteriormente, foi elaborada uma SD para implementação do tema Relatividade, e esta prática pode ser entendida como um “trabalho de campo” que para Bogdan e Biklen (1994), é a forma que a maioria dos investigadores qualitativos utiliza para coletar dados, encontrando com os sujeitos a serem pesquisados em seu ambiente, passando um certo tempo como eles, e na presente pesquisa o ambiente é o escolar. “A medida que um investigador vai passando mais tempo com os sujeitos, a relação torna-se menos formal” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 113). É importante ressaltar que, mesmo o investigador interagindo no ambiente dos sujeitos, isto deve ocorrer de forma limitada, sem o objetivo de obter prestígio, e sendo simultaneamente reflexivo.

O papel do investigador é explicitar seus interesses e tentar que os sujeitos que irão participar cooperem consigo (BOGDAN e BIKLEN, 1994). Pode se afirmar que a relação estabelecida no trabalho de campo se adequa melhor à pesquisa qualitativa em função da observação participante. É relevante que se atente à profundidade do envolvimento do investigador, considerando o estudo que se propõe elaborar. “Ser-se investigador significa interiorizar-se o objetivo da investigação, à medida que se recolhem os dados no contexto. Conforme se vai investigando, participa-se com os sujeitos de diversas formas” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 128). Isto justifica, de certa forma, que o investigador o qual se propõe a elaborar uma SD, e tornando-a seu objeto de estudo, também seja o responsável por implementá-

la, pois assim conseguirá refletir acerca dos fatores que interferem em sua proposta didática.

Uma das formas de coletar dados, a fim de investigar as potencialidades e as limitações da SD na aprendizagem da Relatividade, se deu através de um questionário aberto, contendo apenas questões descritivas, a fim de que os sujeitos sintam liberdade para exporem suas concepções e desta forma, a análise ocorra considerando a individualidade dos estudantes. Além disso, esse tipo de ferramenta para coleta de dados com questões descritivas pode ser utilizado por um investigador que considera a participação dos sujeitos como um dos elementos do fazer científico. Esta técnica, entre outras, exige atenção especial ao informante, ao observador e às anotações de campo (TRIVIÑOS, 1987).

As fontes de informação foram os alunos de uma turma do segundo ano do Ensino Médio noturno de uma escola pública de ensino, a qual representava um total de trinta e cinco alunos. Foi solicitado ao professor regente da turma que disponibilizasse dez aulas para a implementação do projeto, porém ao final percebeu-se que seriam necessárias duas aulas adicionais para que o conteúdo pudesse ser melhor conduzido.

Foi elaborada uma tabela para auxiliar na análise dos objetivos em relação às fontes de informação e a coleta dos dados, representada na Tabela 1:

TABELA 1 – Disposição dos objetivos e coleta dos dados

OBJETIVOS DA PESQUISA	FONTE DE INFORMAÇÃO	INSTRUMENTO DE COLETA
Construir um material didático para o estudo da Relatividade, abordando incoerências da mecânica clássica e a detecção dos múons	Artigos, revistas do meio acadêmico	Referências bibliográficas
Avaliar os limites e potencialidades desta sequência didática, de acordo com uma aprendizagem significativa, no estudo da Relatividade no ensino médio.	Sala de aula; Alunos	Observação; Questionários; atividades propostas em sala.
Examinar as relações construídas em referentes aos conteúdos propostos junto aos alunos participantes	Alunos	Questionário
Analisar a proposta didática junto aos alunos participantes.	Alunos.	Questionário

4.3 Intervenção pedagógica

Para resolver a questão problema que norteia esta pesquisa, foi elaborada uma SD de 10 aulas, a fim de compreender quais as contribuições e limitações da mesma no ensino da Relatividade Restrita. A descrição das aulas em relação aos conteúdos, atividades e objetivos estão representadas na Tabela 2.

TABELA 1- Sequência didática para o ensino da Relatividade.

Aula	Conteúdo	Atividades propostas
1	Movimento a) Movimento relativo e absoluto; b) Referenciais, c) Referenciais inerciais	-Leitura MD, primeira lei de Newton; -Vídeo 34 segundos (animação para identificar quem está em movimento e quem está em repouso); - Slides.
2	Princípio da Relatividade de Galileu a) Impossibilidade de determinar qual está em movimento e qual está em repouso	-Leitura do enunciado da relatividade de Galileu no MD; -Trecho do vídeo do saco em queda do mastro do navio em MRU; -Simulador:
3	Adição de velocidades na MC e incoerência com velocidade da luz.	Simulação com exemplo do cálculo da adição de velocidades para os observadores em MRU;
4 e 5	Espaço e tempo a) Espaço para Newton; b) Espaço e tempo para Einstein; c) Relação do espaço e tempo	-Vídeo 20 minutos- além do cosmos; -diálogo sobre os conceitos e sobre as dúvidas.
6	Simultaneidade	- Laboratório de informática; -Simulador online.
7	Dilatação do tempo a) Postulados b) Dedução da equação de dilatação do tempo a partir da cinemática	-Leitura dos postulados no MD; - Implicação do segundo postulado na simultaneidade; -Animação para dedução da equação e Simulador para observação da passagem do tempo em diferentes relógios; -Resolução de exercícios sobre dilatação do tempo e relação com o primeiro postulado.
8	Detecção dos múons	Execução do Experimento câmara de nuvens
9	Os múons e as evidências da relatividade	A detecção em relação à MC e relatividade restrita
10	Questionários da pesquisa	-----

4.4 Base teórica para a análise dos dados

O termo “dados” se referem aos elementos que formam a base da análise, são os materiais que foram recolhidos e dispostos ao estudo. Esses dados constituem materiais em forma de registros, como os questionários por exemplo. Bogdan e Biklen (1994), classificam os dados como sendo as provas e as pistas, que se ligam com o mundo empírico, unindo a investigação qualitativa a outras formas de ciências. São os elementos necessários para pensar de forma adequada e profunda sobre os aspectos nos quais se pretende explorar com a investigação.

Para Minayo (1994), há três finalidades para a análise dos dados, sendo elas:

- Estabelecer uma compreensão dos dados coletados;
- Confirmar ou não as hipóteses; e/ou responder à questão de pesquisa;
- Ampliar o conhecimento sobre o assunto pesquisado, articulando-o ao contexto cultural em que está inserido.

É de interesse desta pesquisa que se apresente dois destes elementos, o primeiro se refere à verificação das questões. Através da análise de conteúdo pode-se verificar as questões formuladas no início do trabalho. O outro item está relacionado à descoberta que está por trás dos conteúdos manifestos, indo além dos elementos que estão aparentes (MINAYO, 1994).

A análise de conteúdo pode abranger as seguintes fases: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados obtidos e a interpretação.

A primeira fase compreende a organização do material a ser analisado definindo, de acordo com os objetivos e questões, a unidade de registro, unidade de contexto, trechos significativos e categorias.

Na segunda fase deve-se aplicar o que foi definido na primeira fase, sendo esta a fase mais longa, sendo necessário em muitos casos, uma leitura mais aprofundada.

A terceira fase ocorre a partir de princípios quantitativos, com a tentativa de desvendar o conteúdo implícito e as características dos fenômenos que estão sendo analisados (MINAYO, 1994).

Para a primeira fase da análise do conteúdo, há uma técnica utilizada para tratamento dos resultados, que consiste no desenvolvimento de categorias de codificação. Para Bogdan e Biklen (1994), esta atividade é responsável por um sistema de codificação para organização dos dados, sendo uma técnica difícil devido ao fato de que os dados geralmente não possuem

categorias bem definidas, sendo na maioria das vezes complexas.

O procedimento, nestes casos, é que a medida em que são lidos os dados, algumas palavras, frases ou padrões de comportamentos podem ser destacados. Um sistema de codificação envolve alguns passos, como: a procura de regularidades ou padrões ou escrever palavras ou frases que contenham esses tópicos.

Essas frases ou palavras são as categorias de codificação, sendo, portanto, um meio de classificar os dados recolhidos. Deve-se considerar os objetivos e as questões para determinar essas categorias, pois cada questão ou objetivo dará origem a determinadas categorias.

Bogdan e Biklen (1994, p. 222) ainda apontam algumas categorias que podem ser encontradas em determinadas pesquisas, dentre as quais pode-se destacar: 1) códigos de contexto: são códigos segundo os quais a maior parte da informação sobre o contexto, a situação, o tópico ou os temas podem ser classificados. 2) Códigos de definição da situação: na qual deve-se organizar os conjuntos de dados que descrevam a forma como os sujeitos definem a situação ou tópicos particulares. Analisando a visão que os sujeitos têm do mundo e como observam a si próprios em relação ao objeto de estudo. 3) Pensamentos dos sujeitos sobre pessoas e objetos: aponta para códigos que revelam a percepção que os sujeitos têm uns dos outros, das pessoas estranhas ao serviço e dos objetos que constituem o seu mundo. 4) Códigos de processo: referem-se à codificação de palavras e frases que facilitam a categorização das sequências de acontecimentos, mudanças ao longo do tempo ou passagens de um tipo ou gênero de estatuto para outro.

Alguns riscos da pesquisa qualitativa como a excessiva confiança no investigador como instrumento de coleta de dados; a reflexão exaustiva acerca das notas de campo possa representar uma tentativa de dar conta da totalidade do objeto estudado, além de controlar a influência do observador sobre o objeto de estudo; falta de detalhes sobre os processos através dos quais as conclusões foram alcançadas; falta de observância de aspectos diferentes sob enfoques diferentes; certeza do próprio pesquisador com relação a seus dados; sensação de dominar profundamente seu objeto de estudo; envolvimento do pesquisador na situação pesquisada, ou com os sujeitos pesquisados, podem induzir resultados e comprometer a pesquisa (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

É importante ressaltar que somente a formulação de critérios e pontos de referência não são suficientes para determinar a qualidade de uma pesquisa qualitativa. Em relação a isso,

afirma Flick (2004, p. 280)

[...] a questão da qualidade da pesquisa situa-se no nível do planejamento da pesquisa (desde a indicação de planos e métodos da pesquisa até o controle de qualidade) ao nível da avaliação do processo, do treinamento para a pesquisa e da relação entre a atitude e a tecnologia- entre a arte e o método- existente na pesquisa (FLICK, 2004, p. 280).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e disposição dos dados foram separados em categorias que seguem ao longo do texto, o qual se inicia neste tópico com a descrição das aulas e algumas disposições gerais. Quanto à análise das respostas aos questionários, pode-se afirmar que foram identificados padrões, sendo posteriormente separados em categorias, as quais foram dispostas em gráficos, a fim de que facilitar a comparação entre as concepções. É relevante destacar que sendo as questões descritivas, uma única resposta pode conter além de uma categoria. Os questionários para avaliação das relações de significados em relação ao conteúdo (Questionário 1, disponível no Apêndice 6) e percepções dos estudantes acerca da sequência proposta (Questionário 2, disponível no Apêndice 7).

5.1 As abordagens em sala

Movimento relativo e repouso/Relatividade de Galileu

Os alunos foram inicialmente informados sobre a sequência de aulas, e quais seriam as atividades propostas, além dos objetivos com a implementação destas em sala de aula.

As primeiras aulas tratam do movimento relativo e do repouso, além da relatividade de Galileu e a adição clássica de velocidades. Isto se justifica pelo fato de que o aluno precisa ter em sua estrutura subsunçores com os quais os conceitos de relatividade restrita possa ser relacionado.

Há, logicamente, a necessidade de se estabelecer conexões entre tais conteúdos, uma vez que foi através das incoerências entre a mecânica clássica e fenômenos observados relacionados com a velocidade da luz, que se deu a gênese da TRR. Desta forma, o material pode ser relacionável à estrutura cognitiva dos alunos, e este deve ter o conhecimento prévio necessário para relacionar o conhecimento novo de forma não arbitrária e não literal.

No início da aula os alunos foram questionados se naquele momento estavam em repouso ou em movimento. A maioria afirmou que se encontrava em repouso.

A princípio houve uma dificuldade em compreender a necessidade de se estabelecer um referencial para responder à esta pergunta, pois o senso comum compreende que se você está estático é o suficiente para definir que está em repouso. Compreender o movimento relativo é

essencial para que possam avançar no entendimento do conteúdo.

O assunto foi retomado na aula seguinte, uma vez que se compreende que a aprendizagem significativa é progressiva, isso exige que o conteúdo seja abordado várias vezes e de maneiras diferentes, para que o aluno possa relacioná-lo de maneira substantiva.

Outros exemplos adicionais foram inseridos nos slides, como formas de organizadores prévios, uma vez que os alunos não demonstraram associar o novo conhecimento aos seus conhecimentos prévios.

Após a retomada do assunto na segunda aula, através da animação e exemplos em que eles tinham que responder quem estava em movimento e quem estava em repouso, foi possível perceber que conseguiram relacionar a relatividade do movimento com a definição de movimento e repouso relativo.

No final da segunda aula puderam reelaborar as respostas dadas as questões do material didático (doravante MD), considerando que a aprendizagem significativa é progressiva, é importante que o aluno refaça, mais de uma vez se necessário, as tarefas de aprendizagem.

Para a questão: Quando dizemos que um corpo está em repouso ou em movimento? No material didático, vinte alunos afirmaram que para responder precisa-se estabelecer um referencial; duas respostas associadas ao MRU e apenas um não respondeu à questão. Entre alunos que afirmaram que é necessário estabelecer um referencial, cinco utilizaram o termo “ponto de vista”, ao descrever com suas palavras a noção de referencial, destacando sua elaboração de significados do conceito de referencial.

Algumas respostas:

“Em relação à parede estamos em repouso, e em relação ao Sol estamos em movimento”.

“Precisa sempre de um referencial para saber se está em repouso ou movimento”.

Apesar de terem usados exemplos e, no entanto, a questão exigia que explicassem como se define que um corpo está em repouso ou em movimento, percebeu-se que se apropriaram dos conceitos de movimento relativo e referencial através das respostas.

O conteúdo relacionado à relatividade de Galileu também foi retomado visto que se observou no material didático algumas respostas incoerentes com o que se viu em sala. Foram registradas muitas faltas, o que os demais alunos consideraram normal para um dia de aula na

sexta-feira e início de bimestre. Evidenciava-se a preocupação que esse índice alto de evasão nessas aulas prejudicasse o andamento da sequência didática.

Após assistirem a um breve vídeo de um exemplo de um saco solto de cima do mastro de um navio que está em movimento retilíneo uniforme (MRU), e revendo as questões que foram realizadas na segunda aula, os alunos demonstraram serem capazes de transpor esse conceito da relatividade de Galileu para outros exemplos, os quais foram adicionados aos slides para que houvesse essa retomada na aula seguinte.

Na atividade em Quadrinhos, o exemplo da bola que cai do mastro do navio em movimento, a proposta era que explicassem porque ambos observadores dentro do navio observaram a bola cair no pé do mastro, relacionando com o tipo de movimento que o barco realiza.

Esta atividade foi respondida em duplas, trios ou em alguns casos, de forma individual, houve entrega de oito atividades respondidas. Pode-se afirmar que todas as respostas se relacionam com o princípio da relatividade de Galileu, entre estas:

“Porque as leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial”.

“Pois o barco está em movimento constante”.

“Porque nós que estamos no barco estamos em MRU”.

A principal preocupação momentânea já era com relação aos alunos que não frequentam as aulas. Ao todo a turma possui trinta e cinco alunos. Na primeira semana de aulas compareceram dez alunos. Na semana seguinte doze alunos, alguns que faltaram na primeira semana. Na terceira semana compareceram mais de vinte alunos, e nessas duas aulas iniciaram os conceitos de espaço e tempo da relatividade de Einstein, sendo importante ressaltar que estas aulas foram relocadas para a quinta feira, devido ao uso do laboratório de informática, o qual estaria disponível apenas neste dia.

Os alunos que compareceram de forma mais assídua as aulas conseguiram acompanhar o avanço gradativo do conteúdo até então, sendo que alguns respondem aos questionamentos e também fazem perguntas, porém aqueles que não foram (entre estes, alguns que estavam indo pela primeira vez), ficaram deslocados, embora houvesse um esforço por parte da pesquisadora (e professora) para que se inteirassem do assunto, com a retomada de exemplos e

conhecimentos das aulas anteriores.

Adição de velocidades na MC e Vídeo espaço/tempo

Para a aula de adição de velocidades foi inserida uma animação na qual era possível visualizar um vagão de trem se movendo em uma certa velocidade, e dentro deste, uma bola que se movia na mesma direção e sentido, porém com velocidade diferente do vagão. Os alunos foram questionados acerca da velocidade da bola para um observador fora do vagão, havendo um consenso de que teriam que somar a velocidade do trem com a velocidade da bola em seu interior.

Logo em seguida a bola foi substituída por um pulso de luz e os alunos tiveram que desenhar no material didático o exemplo e calcular a velocidade com base no exemplo anterior. Todos os alunos presentes realizaram esta atividade, chegando ao mesmo valor do exemplo anterior. Após isto, foi realizada leitura do material didático na página três, aonde é possível notar que experimentos sempre detectavam uma velocidade constante para a luz, apenas divergindo quanto aos valores, porém todos com muita aproximação.

Na aula seguinte os estudantes assistiram a um vídeo acerca das concepções sobre o espaço e o tempo, na visão da mecânica clássica (MC) e para Einstein. Como as aulas começam mais tarde do que o horário programado, devido ao atraso da maioria dos alunos, tornou-se necessária a aula seguinte para encerrar e discutir os conceitos abordados.

Espaço e tempo e simultaneidade

Nestas aulas a adesão dos alunos passou a ser muito limitada, estavam presentes em sala sete alunos. Haviam recebido a notícia de que estavam com média suficiente para aprovação no bimestre, e, a partir desta informação, a maioria passou a não frequentar as aulas, sendo que alguns alunos estavam presentes na escola, porém não entravam mais em sala. Aos alunos que se encontravam em sala, percebeu-se que dispersaram e não participavam mais das aulas, indicando desinteresse e desmotivação para prosseguir nos estudos.

Após entrega de questionário para responderem em grupos, sobre as informações do vídeo, e um tempo para responderem, a aula seguiu com um simulador sobre a simultaneidade. O simulador foi proposto inicialmente para ser realizado de forma individual pelos alunos no

laboratório de informática, porém a internet não funcionou, e não foi possível abrir o arquivo. O simulador foi então projetado em sala, e após isto foi solicitado que os respondessem as questões relacionadas ao conteúdo, em duplas.

Em seguida, foi projetada uma animação na qual é possível visualizar um evento em relação a dois observadores, um na plataforma e outro dentro de um trem bala em movimento. Um raio atinge o trem de forma simultânea para quem está na plataforma, porém quem está dentro do vagão não observa o mesmo evento como sendo simultâneo. As imagens desta simulação estão disponíveis no material didático, na página cinco.

Concepção do espaço/tempo e Dilatação do tempo

Como muitos alunos faltaram, e os que se faziam presentes apresentavam muitas dificuldades, além de faltar tempo para exposição e tentativa de diálogo sobre os conceitos, optou-se por utilizar mais uma aula para prosseguir no estudo das concepções sobre o espaço e o tempo, os quais são fundamentais na compreensão da Teoria da Relatividade, considerando que a aprendizagem ocorre de forma progressiva.

Porém, a maioria não demonstrou curiosidade, os alunos não questionavam nem respondiam às indagações, invalidando um possível diálogo. Desta forma percebeu-se que, dali por diante, a aprendizagem estava de fato comprometida.

Foi então projetada uma animação em que duas naves se deslocam a mesma velocidade, a qual é constante, e uma emite um pulso de luz para a outra, a qual se encontra abaixo da primeira. O pulso é constantemente refletido por um espelho localizado na nave de baixo. Os alunos foram indagados sobre como visualizariam a trajetória do pulso de luz se estivessem viajando junto com as naves e depois, se estivessem em um asteroide em repouso em relação às naves.

Feito isto, foi projetado um simulador em que é possível ver a trajetória do pulso de luz nas duas situações, sendo que as imagens deste simulador se encontram disponíveis no material didático, na página seis.

Além disto, foi inserida outra atividade em Quadrinhos envolvendo a Teoria da Relatividade e a sua relação com a velocidade, na qual o menino não conseguiu visualizar os efeitos de dilatação do tempo no seu cotidiano. Vale ressaltar que apenas um trio entregou a atividade, compreendendo às alunas que frequentavam as aulas com mais assiduidade. Porém a

atividade foi entregue somente no último dia de aula, na qual ocorreu a avaliação, não tornando possível a avaliação de possíveis obstáculos em relação às suas aprendizagens.

Execução do experimento

Esta aula foi excepcionalmente realizada em uma quinta-feira devido à aquisição do gelo seco ter ocorrido na quarta-feira - único dia disponível para a retirada na distribuidora. Como alguns alunos não foram avisados desta alteração, foi um dia em que estavam presentes mais alunos que habitualmente percebido nas aulas de sexta-feira.

Os alunos se dividiram em grupos e receberam um roteiro para execução do experimento da câmara de nuvens. Vários grupos não tinham materiais, fato já previsto e contornado pela professora, a qual levou materiais adicionais. Percebeu-se que o experimento despertou um certo interesse dos estudantes, os quais comumente não têm acesso a esses recursos didáticos.

A dificuldade principal na execução do experimento foi o fato de conseguir apenas uma aula à disposição, em troca com o professor regente da turma, o qual possuía duas aulas seguidas na quinta-feira. Como naquela semana houve mudanças no horário a nível nacional, por causa do verão, a primeira aula, no horário entre 18h e 30min às 19h e 10 min ainda estava dia, não tornando possível a observação dos traços, o que deve ocorrer com o mínimo de iluminação. Porém, os alunos já haviam sido informados que seria um experimento de fácil execução, todavia, a interação das partículas com o vapor de álcool era de difícil visualização naquelas condições.

O roteiro foi disponibilizado aos grupos, porém como não houve a observação dos traços resultantes da interação entre as partículas e o vapor de álcool, deveriam entregar após assistirem o vídeo do mesmo experimento realizado posteriormente pela pesquisadora/professora, o qual em determinados momentos era parado para visualização das diferentes formas as quais os traços resultavam. Nenhum aluno entregou a atividade.

Os múons e a evidência da Relatividade

Foi utilizada uma aula adicional para tratar de aspectos da física de partículas e a relatividade, devido à relevância da contextualização histórica em que ocorreram tais descobertas.

Neste momento foram expostas as descobertas de partículas elementares e o Modelo Padrão, o qual inicialmente não teve nenhum vínculo com observações ou experimentações. Também foi relatado a importância dos físicos brasileiros na detecção de partículas como o quark top em 1995 e principalmente do físico curitibano César Lattes na detecção do méson pi.

Nesta aula foram inseridos mais vídeos curtos, visto que já foi observado a dispersão e o desinteresse nas aulas. Os slides foram constantemente ajustados, ao inserir ou reelaborar alguns recursos para que pudesse despertar mais o interesse dos estudantes. Os vídeos exibidos eram sobre o CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), e de como funciona um acelerador de partículas, além de um vídeo sobre o chuveiro cósmico e outros dois sobre a câmara de nuvens.

Logo após foi relatada a participação de Lattes e o contexto em que foi descoberto o méson pi, além do experimento realizado por David Frische e James Smith, no monte Washington. A partir deste experimento, somente foi possível comprovar a detecção dos múons na superfície da Terra ao considerar a dilatação do tempo provocada pela alta velocidade com que as partículas se deslocam, e para isto, foi demonstrado o cálculo para um tempo clássico e para um tempo relativístico, de modo que os alunos pudessem confrontar os valores obtidos.

Infelizmente os alunos se encontravam mais apáticos que normalmente, e somente seis se faziam presentes em sala. Foram indagados sobre os demais e relataram que se encontravam na frente do colégio, mas não iriam participar das aulas.

O professor regente da turma, e a coordenação da escola não se manifestaram sobre esta situação, apenas informando que este fato é recorrente nos finais de bimestre, principalmente no final do ano letivo.

5.2 Análise das relações de significados acerca dos conteúdos - Questionário 1

De um total de quinze questionários respondidos, três alunos não responderam nenhuma questão relacionada ao conteúdo, oito responderam uma ou duas questões, e o restante respondeu três questões, sendo que ninguém respondeu todo o questionário.

Mesmo configurando um contexto insatisfatório no que diz respeito às aprendizagens, é um quadro conjecturado frente às situações presenciadas em sala durante as abordagens e exposição das aulas.

Quanto à análise das respostas indicadas a respeito dos conhecimentos trabalhados

em sala de aula, foi dividida nas categorias que seguem esta seção, sendo elas: Movimento relativo e Relatividade de Galileu; Velocidade da luz e o segundo postulado e Dilatação temporal e o paradoxo dos gêmeos.

Movimento relativo e Relatividade de Galileu.

Na primeira questão da avaliação de aprendizagem o aluno deveria se recordar da Relatividade de Galileu e o exemplo da queda de um saco do mastro do navio em MRU, no qual o saco e tudo que está dentro do navio compartilha do mesmo movimento.

A letra “a” da questão indagava se dentro de um ônibus sem janelas, se deslocando com velocidade constante, é possível distinguir o movimento do repouso. Seis alunos não responderam sim nem não, visivelmente não compreenderam o enunciado, apresentando dificuldades de interpretação, como exemplo pode-se citar uma resposta:

“Eu estaria em movimento referente à paisagem fora do ônibus, porém aos olhos da minha colega à frente eu estaria em repouso”.

Esta resposta indica que o aluno estabeleceu uma significação com o conceito de movimento relativo, porém não o relacionou de forma significativa com a situação proposta, na qual não conseguiria distinguir o movimento do repouso, estando em um ônibus sem janelas.

Dois alunos responderam que sim, poderiam perceber a diferença do movimento e do repouso, com uma resposta contendo a justificativa que se o ônibus não tem janelas a pressão interna seria maior. Em nenhuma aula o conceito de pressão foi trabalhado, indicando que o aluno não presenciou as aulas ou se fez presente e não participou efetivamente, demonstrando uma concepção ainda do senso comum para explicar a situação proposta.

Quatro alunos responderam que não, pois o ônibus está em movimento constante, alguns indicaram o princípio da relatividade de Galileu. Entre as respostas dadas, destacam-se:

“Não, pois as leis da física são as mesmas em todos os que se movem com movimento relativo uniforme um em relação ao outro, ou seja, são inerciais”.

“Não, pois todo o ônibus está em movimento”.

Uma aluna afirmou que poderia sentir que o ônibus estava em movimento após frear, causando um solavanco. Outra aluna afirmou que conseguiria distinguir o movimento do repouso se tivesse um ponto de referência, uma vez que o ônibus não continha janelas.

Estas afirmações permitem avaliar que a maioria dos alunos que responderam a primeira questão, conseguiu relacionar o movimento relativo e o princípio da relatividade de Galileu com uma situação do cotidiano, se apropriando da noção de referencial.

A letra “b” da mesma questão pedia para indicarem em que ponto do piso do ônibus a moeda cairia da mão de uma pessoa, e explicar porque escolheram aquele ponto. Nesta questão, dez alunos afirmaram que a moeda cai no ponto C, relacionando a explicação com o fato de tudo que está dentro deste sistema de referência compartilha do movimento do ônibus, em alguns casos citam o princípio da Relatividade de Galileu. Entre as respostas dadas, destacam-se:

“A moeda cairia no ponto C, porque ela iria acompanhar o movimento do ônibus”.

“Cairia no ponto C, pois as leis da física são as mesmas para quem está em MRU”.

As respostas para esta questão permitem avaliar que a maioria dos alunos que responderam à questão compreenderam que a moeda cairia no pé de quem a derrubou, assim como a bola ou o saco cai no pé do mastro de um navio em MRU.

De forma geral, é possível afirmar que, em relação aos conceitos de movimento relativo e Relatividade de Galileu, houve apreensão dos conhecimentos, através das associações que realizaram para elaborarem as respostas, uma vez que no início das aulas os alunos não conseguiam ao menos definir o que era MRU.

É importante destacar que no primeiro dia de aula os alunos ainda não tinham informação a respeito de suas médias escolares, não lhes haviam informados que a maioria estava aprovada na disciplina.

Velocidade da luz e o segundo postulado

A segunda questão da avaliação pedia para que os alunos imaginassem duas naves a altas velocidades, que se deslocam em sentidos opostos, em velocidades diferentes e constantes. Um pulso de luz é emitido por uma das naves, e os estudantes deveriam indicar qual seria a velocidade deste pulso de luz.

Apenas quatro alunos responderam esta questão, destes, dois afirmaram que a velocidade do pulso de luz dependeria do referencial, e uma das respostas afirma que a velocidade seria próxima à da luz. Cabe aqui uma observação: os dois postulados da Teoria da Relatividade Restrita se encontravam no final do questionário, e evidentemente foram informados a respeito de poderem utilizar esta informação.

Em diversas situações os alunos foram confrontados com a divergência entre a constância da velocidade da luz e a adição clássica de velocidades, porém, nestas aulas, o desinteresse por parte dos estudantes já era percebido. O comportamento relacionado à indiferença dos estudantes acerca de sua aprendizagem e o elevado índice de faltas é visto com naturalidade pelos próprios alunos e também pela equipe pedagógica da instituição escolar. Alunos relataram que, no início de cada bimestre as faltas são normais, uma vez que no final deste, o professor permite que os alunos realizem trabalhos para alcançar as médias necessárias.

Nesta perspectiva, um sistema de ensino que condiciona o desempenho dos alunos em números, não está disposto a promover uma aprendizagem de forma significativa e crítica, o máximo que alcança é a aprendizagem mecânica, aquela suficiente para consigam atingir as médias necessárias. Enquanto a meta do ensino for o “passar de ano”, a aprendizagem de fato estará comprometida, uma vez que o aluno compreende que se o importante é atingir a média mínima, ele não precisa se esforçar em compreender o que lhe é apresentado em sala de aula após alcançar este patamar.

Dilatação temporal e o paradoxo dos gêmeos

A terceira questão envolvia o paradoxo dos gêmeos, solicitando que os estudantes calculassem e informassem a idade correta da gêmea que viajou e a idade da que ficou na Terra, sem esquecer de justificar a resposta.

Três estudantes responderam esta questão, e entre estes, uma aluna efetuou o cálculo para encontrar o tempo medido no relógio da gêmea que ficou na Terra em relação ao tempo em que a outra levou para ida e retorno. Esta aluna fez uma crítica ao fato de as aulas conterem pouca matemática, porém, apresentou interpretação equivocada ao coletar os dados da questão, além de não conseguir desenvolver o cálculo, mesmo que os dados coletados estivessem corretos.

Apenas uma aluna afirmou que a gêmea que viajou, ao retornar estará mais nova do que a gêmea que ficou, e mesmo que não tenha efetuado nenhum cálculo, demonstra que

compreendeu o princípio do paradoxo dos gêmeos.

Enquanto isso, o outro discente afirmou que as duas terão a idade correspondente ao relógio da gêmea que viajou, demonstrando que não compreendeu que os tempos nos relógios serão diferentes para os dois referenciais.

Durante as aulas tentou-se uma abordagem dialogada, porém a turma não reagiu de forma ativa, não respondiam a questionamentos e não demonstravam dúvidas sobre o que lhes era apresentado. Desta forma, é extremamente difícil avaliar as aprendizagens em relação aos conhecimentos adquiridos, uma vez que não há troca entre aluno e professora. Dois alunos se mostraram bem receptivos à esta abordagem, porém não frequentavam as aulas de forma regular, prejudicando assim o aprendizado e as colaborações em sala.

A última questão solicitava que os alunos explicassem porque deve-se considerar a TRR na detecção dos múons na superfície da Terra. Somente dois alunos responderam, e nenhuma das respostas menciona a alta velocidade com que as partículas se deslocam. Apenas fizeram menção ao chuveiro cósmico, explicando que após o choque na atmosfera os múons se dividem em outras partículas.

Esta aula foi a que teve a menor adesão entre os estudantes, sendo que destes, apenas dois demonstraram certo interesse com o tema. Apesar de a alta velocidade com que as partículas se deslocam e a relação com a dilatação do tempo ter sido mencionada em diferentes contextos, inclusive em aulas anteriores, os alunos não demonstraram realizar esta associação. Todavia, conforme mencionado anteriormente, é praticamente impossível identificar obstáculos no aprendizado quando os alunos optam por não expor suas ideias, seja por desconforto ou por desinteresse.

Esse comportamento passivo por parte do aluno em relação as abordagens dos conteúdos são recorrentes no ensino tradicional, uma herança histórica que ainda está disseminada nos dias atuais, e que exige mudanças urgentes em toda a esfera da educação. Na última aula foram implementados os questionários da pesquisa.

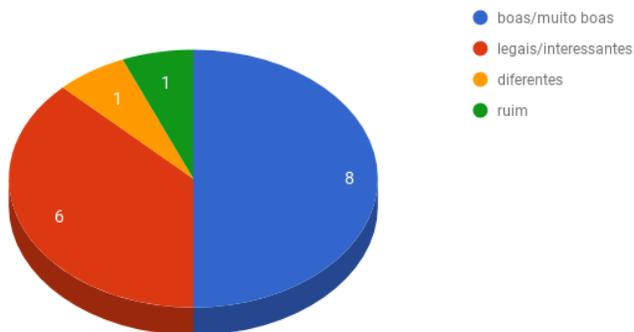
5.3 Percepções dos discentes acerca das abordagens em sala- Questionário 2

Todos os alunos responderam este questionário, gerando resultados mais significativos com relação à compreensão das suas concepções sobre as aulas. Nas duas primeiras questões os alunos foram indagados sobre sua opinião a respeito das aulas e do tema trabalhado, e para todas as questões poderiam elencar mais de uma categoria.

No Gráfico 1 é possível observar que a maioria das classificações se destacam como boas e muito boas. Em apenas um caso um aluno afirma ter uma concepção ruim, o mesmo faltou na maioria das aulas e não participou em nenhum momento, nem ao menos para expor sua opinião ou dúvidas.

GRÁFICO 1- Concepção dos alunos sobre as aulas.

O que você achou das aulas sobre relatividade? Comente.



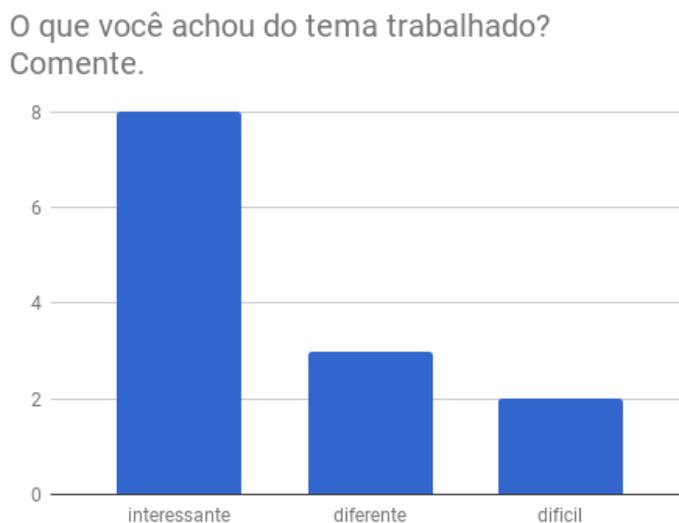
Entre algumas respostas relacionadas as aulas destacam-se:

“Achei todas as aulas muito bem planejadas, bem criativas, com conteúdo e fala de fácil entendimento”.

“Eu gostei bastante das aulas, pois teve atividades variadas, e isso é bom para nossa aprendizagem”.

Além das aulas, o tema destas também foi bem avaliado pelos estudantes, os quais consideram interessante e diferente dos conteúdos recorrentes no ensino médio, em dois casos os alunos relataram que o assunto é difícil, todavia interessante. Os dados obtidos com esta questão estão dispostos no Gráfico 2.

GRÁFICO 2- Concepção dos alunos sobre o tema.



O tema incomum ao que é normalmente exposto ao nível médio de ensino foi relatado pelos estudantes, como evidentes nas afirmações em diferentes respostas, inseridas no Gráfico 2, entre as quais vale destacar:

“Inovador, pois nunca havia trabalhado com isso”.

“Diferente e interessante, pois é um conteúdo pouco falado”.

“As aulas são boas, boa explicação, o conteúdo é interessante e bem importante, pena que é pouco explicado por professores”.

Mesmo tendo consciência que aulas diferenciadas podem promover o aprendizado, ainda assim não houve participação ativa dos alunos nas aulas, o que representa novamente uma lacuna entre o interesse e o aprendizado.

Os resultados da análise das duas primeiras questões permitem observar que há um descompasso em relação ao primeiro questionário, ou seja, um número expressivo de alunos classificou as aulas e o tema de forma positiva, demonstrando empatia, porém não responderam a todas as questões relacionadas ao conteúdo abordado em sala, apresentando um desempenho limitado em relação aos conhecimentos abordados.

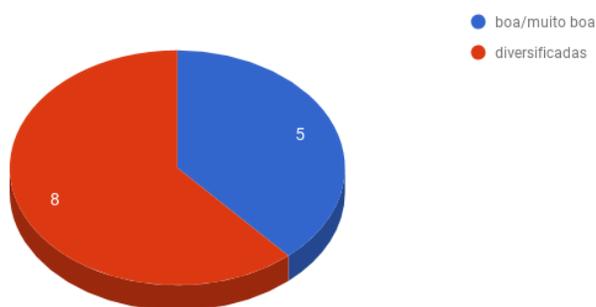
Um resultado semelhante foi obtido pelo PISA (Programa Internacional de Avaliação

de Estudantes) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Em uma avaliação realizada com os estudantes, chegou-se à conclusão de que, embora a maioria dos discentes avaliados tenha interesse nas disciplinas relacionadas à ciência (mais da metade relata ter interesse ou se divertir ao aprender sobre ciências), o desempenho foi bem abaixo da média da OCDE. Além disto, observa-se que o desempenho dos estudantes brasileiros nessa área se manteve no mesmo patamar desde 2006 (BRASIL, 2016).

No Gráfico 3 encontram-se os dados relacionados às percepções dos estudantes sobre o tema trabalhado.

GRÁFICO 3- Concepção dos alunos sobre a estrutura das aulas.

Qual sua opinião sobre a estrutura das aulas (simulações, animações, atividades em quadrinhos, vídeo...)? Comente.



Isto representa um dado significativo, uma vez que ao perceberem diferentes abordagens de um mesmo conteúdo, eles conseguem identificar a discrepância entre as aulas ministradas durante a implementação dessa SD e as aulas lecionadas normalmente no ensino regular.

Os discentes foram interrogados acerca das dificuldades que encontraram durante a implementação da sequência, sendo que a maioria atribuiu maior peso nas faltas e atrasos, além de afirmarem que possuem dificuldades na disciplina, uma forma de justificar o baixo rendimento nas aulas. As respostas informadas foram encaixadas nas categorias representadas no Gráfico 4. É interessante notar que, apesar de alguns alunos mencionarem um desempenho regular, observa-se que estes não responderam nenhuma ou apenas uma questão da avaliação de aprendizagem.

GRÁFICO 4 - Dificuldades encontradas pelos estudantes ao longo das aulas.



É notável que a maioria das asserções estão relacionadas a dificuldade de entendimento de todos os conteúdos em física, ou seja, os obstáculos encontrados para a compreensão do tema relacionado à FMC são os mesmos que enfrentam nos conteúdos da física clássica. Esta foi uma constatação já feita pela III Conferência Interamericana sobre Educação em Física, em 1988 (BAROJAS, 1988). Desta forma, há 30 anos os estudantes possuem as mesmas limitações associadas ao seu entendimento no campo da Física ensinada no Ensino Médio, inclusive nos dias atuais.

Em algumas explicações, os alunos descreveram sua concepção sobre a Física e a Matemática serem equivalentes, e justificam desta forma o fato de não terem compreendido o conteúdo apresentado em sala:

“Sempre tive um pouco de dificuldade em física, porquê sou ruim com cálculos. Por isso foi mais complicado para entender”.

Esta concepção demonstra as abordagens de professores que usam praticamente a Matemática para descrever a Física aos alunos. Desta forma, os discentes concebem uma Física excessivamente baseada em cálculos, não tendo acesso aos conceitos e teorias, os quais dão significado à Física e permitem uma real compreensão dos fenômenos da natureza.

Todavia, as aulas implementadas no projeto foram baseadas em significados e conceitos, com pouca linguagem matemática, contendo apenas um tópico com uso de cálculo

com substituição de valores, que requeria atenção nas etapas para se chegar ao resultado final. Compreende-se assim que o empecilho ao entendimento está associado à Matemática básica. Ainda lembrando o caso da aluna que relatou ter mais afinidade com a Matemática, porém não conseguiu elaborar e desenvolver o cálculo na questão do paradoxo dos gêmeos. Mesmo não descrevendo dificuldades nesse âmbito, percebe-se que há sérios equívocos relacionados à matemática básica.

Estes fatos exigem reflexões sobre as estratégias adotadas no ensino em geral e a necessidade de que a matemática se faça mais presente e com diferentes abordagens, permitindo uma maior aproximação do aluno com esse conteúdo. Ainda mencionando os dados do PISA, o estudo revelou que o desempenho dos estudantes em matemática regrediu em relação aos anos anteriores, mais uma indicação que devem haver mudanças efetivas na área (BRASIL, 2016).

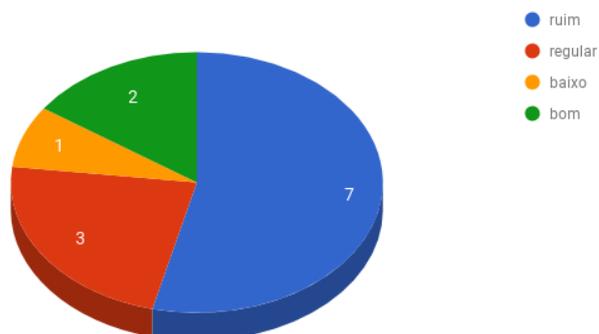
Outro item com número considerável de respostas relacionadas as dificuldades foi “faltas”, demonstrando que estão conscientes que seu desempenho poderia ser mais positivo se frequentassem as aulas regularmente. Em relação a este resultado, fica em evidência uma questão: “sabendo que as faltas interferem no seu aprendizado, qual a razão de não frequentarem as aulas?”. Pretende-se elaborar algumas hipóteses adiante que possam responder a esta indagação.

Em relação aos seus desempenhos, os alunos foram enfáticos ao reconhecer que foi insuficiente, a maioria reconhece que foi ruim, e este dado pode ser associado às faltas, representando um vínculo percebido pelos alunos:

“A minha dificuldade foi por eu ter faltado muitas vezes, aí acabei perdendo muitas explicações, mas nas vezes que vim achei legal”.

GRÁFICO 5 - Avaliação do desempenho individual dos estudantes.

Como você considera seu desempenho nas aulas?



Uma aluna não respondeu a nenhuma questão, apenas descreveu uma justificativa em relação à sua frequência:

“Peço desculpas, mas não tenho como responder, vim em apenas uma aula, no experimento que eu achei muito interessante, gostei bastante!”.

5.4 Dificuldades de implementação e progressão das aulas

O tema Relatividade Restrita é complexo, os materiais disponíveis são extensos e não possuem recortes com um aprofundamento em uma vertente única, além de conter poucas abordagens para o ensino médio. Como o direcionamento proposto era de relacionar a relatividade do movimento com a relatividade restrita e a detecção dos múons, se tornou necessário elaborar um material didático que permitisse a conexão entre estes elementos. Além da exposição do conteúdo, foi considerado o contexto em que surgiram as ideias de Einstein, bem como as colaborações de outros trabalhos para a gênese de sua teoria.

Assim sendo, considerou-se, sempre que possível, o contexto além do conteúdo, para que o aluno pudesse levar o conhecimento que adquiriu para fora da escola, tendo a capacidade de transpor esses saberes em seu cotidiano.

Este fato não se torna propriamente uma dificuldade, mas foi uma necessidade visto à escassez de abordagens neste sentido.

Além disto, alguns fatores interferiram na iniciação das aulas, como por exemplo o

fato de as aulas com a turma do segundo ano ocorrerem nas primeiras horas do período nas sextas-feiras. As aulas nunca começaram 18h e 30min., porém, a maior parte dos alunos chega entre os horários de 18h e 45min até 19h e 15min. A justificativa é que moram longe, e usam transporte escolar, trabalham, entre outras. Como as aulas são divididas em momentos, o andamento destas ficou comprometido.

Um fator considerável que tornou as aulas ineficientes foi a rotatividade com que os alunos frequentavam as aulas. Na primeira semana as aulas contaram com dez alunos, na semana seguinte outros dez alunos (diferentes dos que frequentaram a primeira semana), e assim por diante. As aulas foram construídas em uma sequência lógica, a segunda dependia da primeira e assim sucessivamente, uma vez que o conteúdo em sua totalidade tem uma estrutura que inicia do mais simples para o mais complexo. É inviável que ocorra uma aprendizagem significativa nessas condições. Dos alunos que permaneciam em sala, poucos se faziam presentes de fato.

A maioria dos alunos já tinham média suficiente para serem aprovados no ano, então a postura de muitos em relação às aulas é de indiferença, fato percebido na medida em que a maioria faltava, e aos que compareciam não participavam ativamente das aulas, conversando muito ou então apáticos.

Outra dificuldade observada é a falta de estrutura física da escola, a internet, por meio de *wifi* é disponibilizada somente para alguns dispositivos como notebook e tablete que são cadastrados no início do semestre. O sistema operacional dos computadores do laboratório de informática é ultrapassado, não permite baixar aplicativos como *Phet Colorado* por exemplo, além disso, não é possível, na maioria das vezes abrir simuladores online, pois o sistema não permite.

A aula em que os alunos deveriam usar individualmente os simuladores, teve que ser adaptada e projetada em sala, através do notebook pessoal de uma servidora da escola - o qual possui cadastro para utilizar o *wifi* - sendo que, em determinados momentos, a internet desconectava e não permitia acesso. Na aula seguinte, na qual necessitava-se de outro simulador online, também teve que ser adaptada, com o *download* no notebook, seguido de projeção no quadro.

Além das dificuldades descritas ao longo deste texto, professores relataram que há cerca de três anos, a secretaria de educação do estado sugere aos professores que nivelem as notas dos alunos no sistema em que divulgam, para que não haja reprovações. Porém, esse ano a

abordagem foi mais direta.

A secretaria de educação do estado enviou para as gerências de educação uma ordem que deveria ser repassada aos professores. A ordem era que todos os professores deveriam elevar as notas dos alunos que não tinham média suficiente para que fossem aprovados. Para os professores que se recusassem, a informação que receberam era que caso não efetuassem a medida, a própria gerência de educação iria entrar no sistema de notas e realizar as alterações.

5.5 Sobre o envolvimento dos alunos

Ausubel enfatiza que para que a aprendizagem significativa ocorra efetivamente, além das variadas abordagens em sala, e um material potencialmente significativo, deve haver uma ação do aprendiz sobre esse material, implicando que "o verdadeiro aprendizado é causado pela ação do aprendiz, não do professor" (LEBOEUF e BATISTA, 2013 cita GOWIN, 1981, p. 54). Logo, o conhecimento não é recebido passivamente pelo aluno, o conhecimento é construído ativamente por ele. Convém lembrar ainda que Moreira (2011) relata alguns passos em relação ao aprendiz, para que a aprendizagem significativa ocorra:

- 1) Quando ele aceita a tarefa de aprender ativamente, tentando entender o material que lhe ensinam;
- 2) Ao tentar integrá-los aos conhecimentos que já possui;
- 3) Quando não evita o esforço por novas aprendizagens, não exigindo que o professor faça tudo por ele; e
- 4) Quando faz perguntas necessárias sobre o que não compreende.

Através destes elementos, é possível compreender que a aprendizagem significativa é idiossincrática e ativa, ou seja, o aluno decide se sua aprendizagem será significativa ou mecânica, através de seus esforços em interagir com um material potencialmente significativo, na busca por novos significados (LEBOEUF e BATISTA, 2013).

Infelizmente estas condições não foram estabelecidas ao longo das aulas implementadas, neste sentido não faltaram esforços para que os poucos alunos que frequentavam as aulas aprendessem os conceitos e fizessem relações que pudessem promover de fato uma aprendizagem. Neste sentido, uma aluna relata em uma resposta ao questionário:

“As aulas sobre relatividade foram bem planejadas, e a professora se esforçou para ensinar os alunos”.

O início das aulas foi marcado por um certo interesse dos alunos, um empenho para assimilarem o que lhes estava sendo apresentado. A mudança de comportamento se deu após saberem que não precisavam mais se esforçarem para se inteirar do conteúdo, fato que leva a perceber que mesmo no início não havia intenção em uma aprendizagem, mas de obtenção de nota para o “passar de ano”.

O sistema atual de ensino acaba por docilizar os alunos de forma que sejam passivos em relação às abordagens em sala. Sendo assim, abordagens que não se encaixam nesse perfil são de difícil implementação. Como por exemplo o fato de que é o aluno que deve reestruturar um conhecimento para provocar a ação deste na sua aprendizagem. De certa forma, o conformismo em sempre receber respostas prontas, sem que precise realizar questionamentos, ainda é evidente em sala. E maneiras de reverter essa proposição devem ser implementadas em maior parcela de adesão, e requer medidas urgentes.

Mais do que garantir educação para todos, deve-se priorizar uma educação de qualidade e de forma igualitária no sistema de educação básica, o que evidentemente não tem ocorrido no ensino público. A compreensão dos saberes modernos exige uma cognição e comprometimento que não é compatível com o contexto atual das salas de aula, fato ocasionado pela desmotivação e posterior desinteresse dos estudantes.

Nesse contexto, uma escola empenhada em seu objetivo de formar um cidadão crítico e atuante no mundo, tem que estar vocacionada para uma aprendizagem eficaz, a qual possa conduzir o aluno à apreensão e ao desenvolvimento de competências, que o auxiliem a compreender o seu ambiente e o insira como cidadão no meio social em que vive.

A educação atual ainda é reflexo de um ensino tradicional e extremamente condicionado a um comportamento mecanicista, além disto não há comprometimento do poder público na qualidade da educação oferecida na rede básica de ensino.

Uma escola que compactua com formas de ensino ultrapassadas e que não promovem nem a autonomia, muito menos estimula o interesse e comprometimento dos seus alunos no que diz respeito ao conhecimento científico, além de estar com uma defasagem de no mínimo 100

anos em relação às mudanças que ocorrem ao nível econômico, tecnológico e social, não o insere de forma ativa e crítica no mundo atual.

O contexto contemporâneo exige, além da posição crítica frente aos novos acontecimentos, uma atuação extremamente objetiva, uma vez que o desenvolvimento causado pela evolução e incorporação de novas tecnologias, ou seja, a chamada revolução digital, a qual tem provocado mudanças sociais e econômicas em escala significativa. Desta forma, o cidadão contemporâneo deve estar preparado para esta nova configuração, e a escola deve ter papel ativo neste processo.

Todavia, os alunos encerram suas atividades escolares sem desenvolver sua autonomia, sem o mínimo de preparação para viver em um mundo no qual, cada vez mais exige diferentes habilidades de atuação e aperfeiçoamento profissional contínuo. Mesmo os sujeitos que não ingressam em um ensino superior, tem a necessidade de continuar aprendendo, uma vez que atualmente ninguém exerce um único ofício ao longo de toda vida profissional, sendo assim, a escola realiza um papel fundamental na vida dos indivíduos.

Isto implica que o conhecimento deve ser sempre atualizado e no quadro atual da educação, em que o aluno do ensino médio público está desinteressado e/ou desmotivado nos saberes científicos, é provável que não se empenhe na busca por novas aprendizagens, que poderia lhe garantir uma melhor perspectiva de vida.

Esse misto de expectativas e necessidades, fazem com que necessariamente os objetivos do ensino público convertam-se de uma posição passiva frente às dificuldades e indiferenças dos alunos em uma contínua construção de saberes, modificando tanto a posição do professor, do aluno, quanto do próprio Estado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das várias sugestões para se introduzir no Ensino Médio tópicos da FMC, é também consenso que ainda se necessita de muitas pesquisas em relação às abordagens e enfoques a serem desenvolvidos, principalmente perante às dificuldades apresentadas pelos professores.

No contexto de ensino atual, os alunos estão habituados a memorizar proposições, fórmulas, exemplos e explicações, todavia, a proposta deste trabalho era de obter um potencial de promover a aprendizagem significativa de fato, e não apenas simulações de aprendizagem. Talvez por isto, os resultados relacionados às reelaborações acerca das aprendizagens, em relação aos alunos, não tenham sido os esperados.

Deste modo, foram inseridas propostas de atividades e situações que requeriam máxima transformação do conhecimento dos alunos, ao se tornar necessário relacionar o que aprenderam em sala em significados pertinentes e válidos dentro do contexto exigido.

Através deste projeto, percebeu-se que as dificuldades de implementação de FMC no Ensino Médio em uma escola pública vão além das dificuldades relatadas na maioria dos trabalhos revisados, uma vez que abordagens nesse sentido são escassas, indicando a necessidade de que tais implementações sejam cada vez mais presentes no ensino básico.

Alguns obstáculos relacionados à estrutura física e material são frequentes no ensino público, como falta ou mau funcionamento de recursos, sendo exemplos os laboratórios de informática e internet defasados, os quais foram observados durante a implementação desta proposta. Nesse âmbito, pode-se afirmar que estas dificuldades são passíveis de serem contornadas. Porém, quando não há colaboração mútua entre professor e aluno, e as divergências quanto aos seus objetivos são evidentes, os resultados são insatisfatórios.

De um lado, o professor tem a responsabilidade de atuar como mediador entre os saberes e o aluno, proporcionando o diálogo e a interação do aprendiz com os conteúdos. Do outro lado, o aluno tem a tarefa de aceitar o desafio em aprender, se mostrando receptivo à apreensão dos conceitos. Quando ambos compartilham de um mesmo objetivo, ou seja, a construção do conhecimento, a aprendizagem ocorre de forma significativa.

Na implementação desta proposta, foi claramente percebido que houve um desinteresse por parte dos alunos, o qual associou-se ao fato de não precisarem mais demonstrar esforços em relação às aprendizagens, uma vez que as médias necessárias para aprovação no ano

letivo já haviam sido conquistadas. Com efeito, pode-se dizer que desde as primeiras aulas a aprendizagem estava comprometida, uma vez que o objetivo dos discentes não era de se apropriar de um conhecimento, mas sim de conseguir notas, sendo esta uma das principais formas de simulação de aprendizagem.

Esta turma estava habituada a uma aprendizagem mecânica, uma vez que recebiam passivamente a exposição de conteúdos, memorizavam o necessário para replicarem nas avaliações. Desta forma conseguiram chegar ao final do terceiro bimestre com média suficiente para o “passar de ano”, compreendem assim, que não há necessidade de alteração de um sistema que funciona, gerando desta forma uma comodidade e um conformismo.

Devido a isto, abordagens em que se torna necessária uma mudança de comportamento, de uma conduta passiva para uma ativa, na qual os alunos também são responsáveis por suas aprendizagens, são contestadas ou ignoradas pelos estudantes.

As faltas excessivas foram um indicativo da ausência de comprometimento com relação as aulas, além de atividades que não foram cumpridas, dúvidas que não se fizeram presentes em questionamentos, ausência de posicionamentos a favor ou contra as abordagens, e ambos são indícios da falta de interação tanto com os materiais propostos, quanto com as práticas adotadas em sala de aula.

Há muito que saber acerca das proposições e relações nas quais elas afetam os processos cognitivos dos alunos, porém, ao tratar do desinteresse, este remete às motivações que levam os alunos às salas de aula, ou seja, quanto aos seus objetivos com a sua educação.

Se os alunos não buscam adquirir conhecimento, e se deslocam para as escolas somente para serem estatísticas, algo de errado está conduzindo esta ação. Um sistema de ensino que transmite ao aluno uma concepção de educação que está ultrapassada, exigindo deste o mínimo de esforço necessário para atingir uma média numérica, para que a escola e o governo do estado pareçam eficientes, está reproduzindo indivíduos incapazes de compreender a realidade em um mundo que cada vez mais exige o contrário.

Deste modo, reafirma-se que, dentre os resultados de uma proposta de inserção de Física Moderna e Contemporânea, através de uma sequência didática sobre a Relatividade, observou-se as mesmas dificuldades das quais os professores da rede básica de ensino enfrentam no seu dia a dia ao atuar como docentes. Entre estes obstáculos destacam-se a falta de estrutura e recursos físicos, o desinteresse e a indisciplina dos estudantes, além da falta de apoio e

valorização por parte das instituições e do poder público, o que vem a resultar em uma desmotivação, a qual precinge tanto os discentes como todos que trabalham em favor de um ensino com qualidade.

Enquanto o ambiente escolar for de uma entidade que não favoreça a capacidade criadora e de criticidade e de empenho acadêmico, visando a busca pelo conhecimento, continuará a servir como ferramenta de manutenção de uma sociedade hierarquizada e desigual, a qual deve ser transformada. Somente ocorrerão mudanças se houver uma nova postura em todas as esferas: ao nível de Estado, de instituições escolares, de toda equipe pedagógica e também dos discentes, os quais deveriam ser mais bem atendidos pela escola em nível fundamental, propiciando a ele uma emancipação intelectual de fato e não apenas uma imersão em rituais escolares desprovidos de significado.

Deve-se ir além do “garantir educação para todos”, e exigir das autoridades competentes que o ensino seja de fato para todos, porém com qualidade e eficiência, para que a formação de cidadãos críticos e atuantes no meio em que vivem transcenda o papel e ocorra efetivamente na escola pública de ensino. Compreende-se que há, além da ineficiência, uma dissimulação no domínio da política atualmente, sendo assim, esforços não devem ser medidos a fim de evitar que este contexto se estenda a noosfera escolar.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção do Conhecimento: Uma perspectiva cognitiva.** Trad. Lígia Teopisto. Lisboa: Plátano, 2003.

BAROJAS, J. (Ed.) **Cooperative networks in physics education.** New York: American Institute of Physics, 1988. (AIP Conference Proceedings, 173)

BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari K. **Investigação em educação: uma introdução à teoria e os métodos.** Porto editora, 1994.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

DOLZ Joaquim.; NOVERRAZ, Michèle.; SCHNEUWLY, Bernard. 2004. **Sequências didáticas para o oral e escrita: apresentação de um procedimento.** In: Gêneros orais e escritos na escola. Trad. e (Org.) de Roxane Rojo e Glaís Sales Cordeiro. Campinas-SP: Mercado de Letras, p. 95-128.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade: sobre a Teoria da Relatividade Especial e Geral.** Tradução Silvio Levy. Porto Alegre: L&PM, 2013.

FLICK, Uwe. **Uma introdução à pesquisa qualitativa.** 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa.** Porto alegre: editora da UFRGS, 2009.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007

GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. La introducción a la física moderna: un ejemplo paradigmático de cambio conceptual. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, p. 209-210, set. 1987. n. extra.

GUERRA, Andreia.; BRAGA, Marco.; REIS, Cláudio. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK.; Walker, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. vol. 4, Rio de Janeiro: LCT, 2009.

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. Tradução Ivo Korytowski. São Paulo: Mandarim, 2001.

HEWITT, R. **Física Conceitual**. Tradução Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravna. 9 ed. Porto Alegre; Bookman, 2002.

KARAM, Ricardo A. S; CRUZ, Sonia M. S. C de Souza; COIMBRA, Débora. Tempo relativístico no início do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n.3, p. 373-386, 2006.

KOBASHIGAWA, Alexandre H.; ATHAYDE, Beatriz A.C.; MATOS, Kédima F. de oliveira; Camelo, Midori H.; falconi, Simone. **Estação ciência: formação de educadores para o ensino de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental**. In: IV Seminário Nacional ABC na Educação Científica. São Paulo, 2008. p. 212-217.

LEBOEUF, Henri. A; BATISTA, Irinéia. L. Uso do “v” de Gowin na formação docente em ciências para os anos iniciais do ensino fundamental. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**. v 18(3), pp. 697-721, 2013.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 21ed. Petrópolis: Vozes, 1994.

MOREIRA, Marco A. O Que é Afinal Aprendizagem Significativa? **Revista Currículum, La Laguna**. 25: 29-56, 2012. Disponível em<: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> acessado em: 08/05/2017.

_____. **Metodologia de pesquisa em ensino**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

_____. **Aprendizagem significativa crítica**. 2.ed. rev. UFRGS: 2010. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/>>. Acesso em: 05 mar. 2011.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora UNB, 2006.

NEWTON, Isaac. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural**. 325 p. São Paulo: EdUSP, 2008.

OSTERMANN, Fernanda. PEREIRA, Alexsandro P. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 14, nº 3, p. 393-420, 2009.

_____; Moreira, Marco. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Revista Investigação em Ensino de Ciências**. Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, v. 5, n. 1, 2000.

PAULO, I. J. C. de. **Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio**. Cuiabá: Instituto de Educação – UFMT, 1997. Diss. Mestr. Educação.

Peduzzi, Luiz. O. Q. **A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica.** Departamento de física, UFSC. Florianópolis, 2015.

SILVEIRA, Fernando. L.; PEDUZZI, Luiz. O.Q. Três episódios de descoberta científica: Da caricatura empirista a uma outra história. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.

STACHEL, John. 1905 e tudo o mais. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 27, n. 1, p. 5 - 9, 2004.

TERRAZZAN, Eduardo A. **Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média.** São Paulo: Curso de Pós Graduação em Educação - USP, 1994. Tese.

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

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R.A. **Física Moderna.** Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TORRE, A. C. de la. Reflexiones sobre la enseñanza de la física moderna. **Educación en Ciências.** v. II, n. 4, p. 70-71, 1998.

TRIVIÑOS, Augusto N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais.** São Paulo: Atlas, 1987.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. Aprendizagem Significativa, in: **Revista/Meaningful Learning Review.** v 1, pp. 36-57, 2011.

VELARDE, Afonso. Relatividad y el Espacio-Tiempo: Una introduccion para estudiantes de colégio. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** vol. 24, n. 3, Setembro, 2002.

VILLANI, Alberto. **Análise de um curso de introdução à Relatividade.** Instituto de física-USP. São Paulo, 1997.

_____. A visão eletromagnética e a relatividade: a gênese das teorias de Lorentz e Einstein. **Revista de ensino de física**. vol. 7, n.1, instituto de física, São Paulo, 1985.

ZABALLA, A. **A Prática educativa: como ensinar**. Tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE 1 - Material Didático Relatividade

1- Movimento e Repouso

A primeira lei de Newton diz:

“Todo corpo continua seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a mudar o estado em que se encontra por forças a ele aplicadas”.

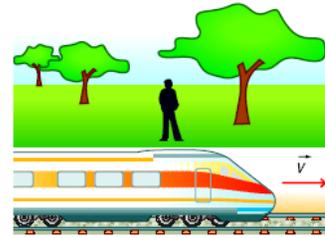
- Mas o quando um corpo está em repouso ou em movimento?

- O que é um referencial inercial e um referencial não inercial?

A mecânica newtoniana nos diz que é necessário escolher um referencial (referencial relativo), ou o objeto pode ter o movimento ou o repouso determinados com relação ao espaço (referencial absoluto).

A primeira lei de Newton levanta a questão do referencial em que se especifica o estado dinâmico de um corpo.

Exemplo:



O observador no solo diz: o trem se move para a direita da folha com uma velocidade v .



O observador dentro do trem diz: a paisagem se move para a esquerda da folha com uma velocidade v .

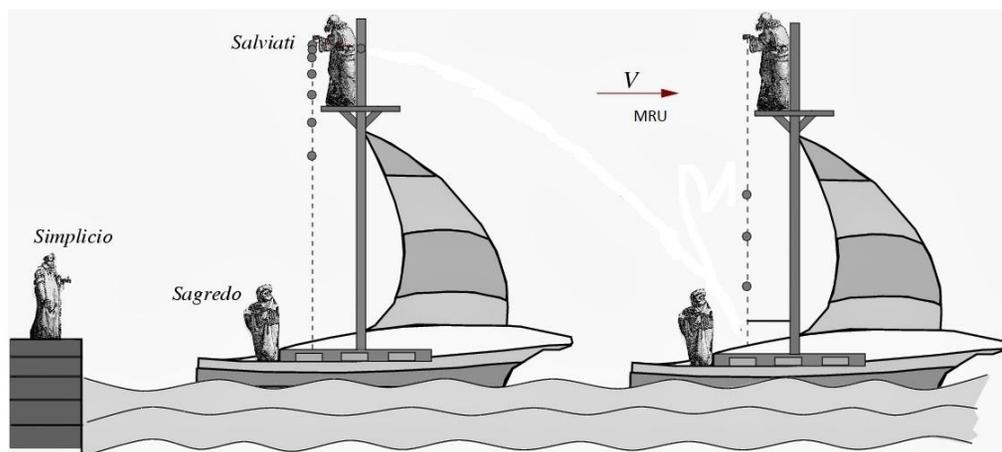
Quem está correto?

As leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial.

2- Princípio da Relatividade de Galileu

“Não há um experimento na mecânica que permita distinguir um movimento retilíneo uniforme do repouso. As leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial”.

Exemplo: Em seu livro “Diálogo sobre os dois sistemas do mundo”, Galileu descreve a seguinte situação: em um barco em movimento retilíneo uniforme, Salviati deixa cair uma esfera de cima do mastro, havendo então uma discussão sobre o movimento observado de queda, tanto para quem está no barco como para quem está no cais.



Quem está dentro do barco diz que Simplicio está em repouso ou em movimento?

Para Simplicio que está no cais, Sagredo e Salviati estão em MRU, mas porque ambos observam a bola cair no pé do mastro?

Denomina-se "princípio de relatividade de Galileu" a afirmação de que é impossível detectar algum efeito físico de um movimento uniforme de translação, por experiências internas a esse sistema, ou seja, para experiências realizadas dentro de um sistema, seu movimento de translação, se for uniforme, não pode ser notado, uma vez que tudo que está dentro do barco compartilha do seu movimento. Mas porque a bola cai em linha reta em relação a quem está dentro do navio? Leia novamente a primeira lei de Newton!

3- Adição de velocidades na mecânica clássica

Como calcular a velocidade em diferentes referenciais?

Exemplo:

Para o observador fora do trem, o que se move com maior velocidade, o trem ou a bola?

Para a pessoa no vagão, o que se move, o trem, a bola ou os dois?

A velocidade da bola é diferente para os dois observadores!

Para o observador fora do trem:

Para o observador dentro do vagão

Para o mesmo exemplo, se substituirmos a bola por uma fonte de luz:

Podemos concluir que a velocidade de propagação da luz, na mecânica clássica, para o observador dentro do vagão será de _____, e para o observador fora do vagão será de _____.

A velocidade da luz

- ✓ Galileu tentou medir a velocidade da luz, pelo tempo que demorava para ela se propagar de uma colina à outra, com auxílio de um ajudante; não conseguiu, mas já suspeitava que era finita.
- ✓ O dinamarquês Olaf Roemer (1644-1710) tentou calcular a velocidade da luz observando eclipses entre Júpiter e uma de suas luas, chegando ao valor de $2,15 \times 10^8$ m/s.
- ✓ Louis Fizeau (1819/1896) retoma a ideia de Galileu ao emitir um pulso de luz de uma colina, sendo refletido em outra colina e detectado obteve um resultado de $3,14 \times 10^8$ m/s.
- ✓ James Clark Maxwell deduziu, e verificou posteriormente por experimentação chegando ao valor de 3×10^8 m/s.
- ✓ Atualmente admite-se o valor mais exato de $2,99.792.458 \times 10^8$ m/s.

4- Concepções de espaço e tempo na mecânica newtoniana

Nas páginas que precedem o enunciado de suas três leis, no primeiro livro do *Princípios*, Newton sustenta a existência de um referencial absoluto, um sistema de referência privilegiado, em relação ao qual o verdadeiro movimento (e repouso) de um corpo pode ser conhecido. O espaço absoluto, infinito, uniforme, homogêneo, imutável, que, por sua própria natureza tem existência independente de qualquer objeto material é, para Newton, esse referencial.

Um corpo está em repouso absoluto se a sua posição não se altera em relação ao espaço absoluto. O deslocamento do corpo de um lugar para outro nesse espaço caracteriza o seu movimento absoluto. Dessa forma, é em relação a esse espaço que se pode especificar o verdadeiro movimento ou repouso de um objeto material.

Por outro lado, um corpo se encontra em repouso em relação a um outro corpo (repouso relativo) se as relações espaciais entre ambos permanecem inalteradas. Caso isso não ocorra, os dois corpos apresentam um movimento relativo.

Fica claro então, que Newton concebe o movimento como uma relação entre dois corpos: quando um desses corpos é o espaço em si, o movimento é absoluto.

Em suas considerações, Einstein destaca que o conceito de espaço é de difícil compreensão intuitiva. Para ele, esse conceito está ligado a um outro, psicologicamente mais simples – o de lugar (local).

Já se sabia que a luz é uma onda eletromagnética, pensava-se então existir um meio invisível no qual esse tipo de onda se propagasse, os cientistas chamaram esse meio de éter. Ele preencheria todo o espaço, e como Maxwell chegou a um valor bem preciso para a velocidade da luz, pensava-se que essa velocidade era medida com relação a esse espaço absoluto: o éter.

A determinação do movimento da Terra em relação ao éter, particularmente, foi objeto de muitas investigações experimentais, os resultados, contudo, foram sempre nulos. Pensava-se que a velocidade da luz variava de acordo com o movimento da Terra nesse meio, porém não era o que diziam os experimentos, a velocidade medida era sempre a mesma, invalidando as somas clássicas de velocidade.

Com relação ao tempo, Newton considerava que fosse algo completamente “universal”, como um tempo “divino”, transcorrendo igualmente para todo mundo. Assim todos os relógios, independentemente de sua posição ou do seu movimento, marcariam um tempo “universal e consensual”, igual para todos.

Resumo:

- Para Newton, o tempo e o espaço são absolutos; os eventos são simultâneos;
- O espaço é um referencial estático e imutável (éter);
- O tempo medido por dois observadores em um evento é o mesmo, inclusive os que envolvem a velocidade da luz (simultaneidade);
- Experimentos realizados não detectavam o tal éter

Desta forma, percebe-se que para a mecânica clássica, os eventos são simultâneos.

5- Contração de Lorentz/ Fitzgerald

Assim como as ondas precisam de um meio de propagação, acreditava-se que a luz funcionava da mesma maneira, então os cientistas cogitaram a existencia de um meio chamado éter, que preencheria todo o espaço.

O resultado negativo dos experimentos em relação ao éter, em principal um realizado por Michelson e Morley, usando espelhos para detectar uma possível diferença na velocidade da luz nesse meio, levou George Francis FitzGerald e H.A Lorentz, seguindo perspectivas independentes, a chegarem a mesma conclusão de que as dimensões dos corpos rígidos se modificam como consequência ao movimento que realizam através do éter.

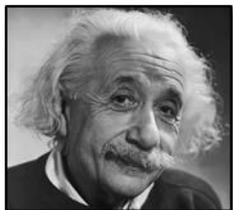
Desta forma, o resultado do experimento não conteria nenhum erro, e assim se conserva a ideia da existência do éter. Para isto, deveria-se admitir que o movimento de um corpo sólido, em movimento através do éter em repouso absoluto, tem suas

dimensões influenciadas, as quais variam com a orientação do corpo em relação à direção do movimento.

Lorentz chega à equações que explicam tal comportamento, porém não discute seu significado físico, até que um certo físico chamado Albert Einstein (1879-1955), em seus dois postulados, mudou toda a concepção de espaço e de tempo que se tinha até então!

6- Einstein e seus postulados

- *As leis da física são as mesmas em todos os referenciais que se movem com movimento relativo uniforme um em relação ao outro, ou seja, em todos os referenciais inerciais.*
- *A velocidade da luz no espaço vazio é a mesma em todos os sistemas de referenciais e não depende da velocidade do emissor.*



Toda sua Teoria está fundamentada
nesses dois postulados!

Figura 2- Albert Einstein

Ao afirmar que a velocidade da luz é a mesma para todos os referenciais inerciais, Einstein começa a sugerir alguns eventos envolvendo a luz, como veremos a seguir.

7- Relatividade da simultaneidade

Observando um evento relacionado a dois observadores, um em um vagão e outro em uma plataforma, dois raios atingem o

comboio e o homem na plataforma diz que os dois eventos foram simultâneos:

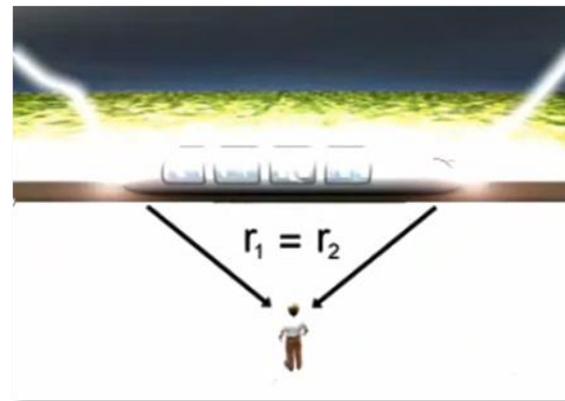


Figura 3- um observador vê os dois raios atingirem o comboio ao mesmo tempo.

Mas o que acontece se uma pessoa estiver dentro do trem, bem no meio dele? Como o comboio está em MRU, ela não verá os dois raios tocarem o trem ao mesmo tempo.

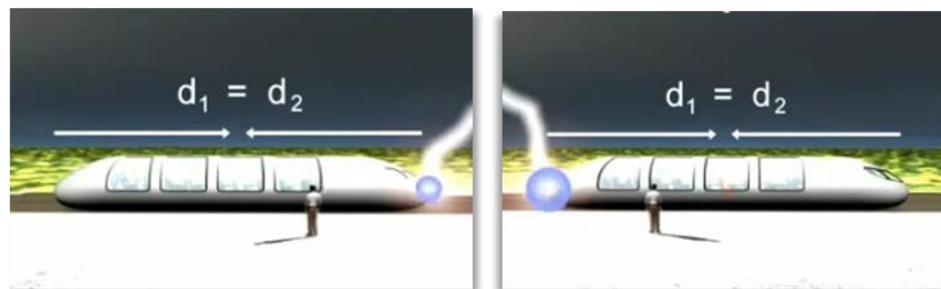


Figura 4 e 4: a pessoa dentro do comboio registra o raio em diferentes momentos

A mulher dentro do trem verá o raio chegar na frente do comboio antes, uma vez que ela se desloca com velocidade constante nesta direção (figura 1). Logo em seguida ela verá o segundo raio chegar à extremidade posterior do trem (figura 2).

Isto nos permite concluir que os dois observadores registam um evento em tempos diferentes, ou seja, o tempo passa de forma distinta para dois observadores em um mesmo evento.

Ao postular que as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais, Einstein unifica a mecânica com o eletromagnetismo, o que até então ninguém havia conseguido. Além disso, Einstein mostra que a ideia de um meio absoluto é desnecessário, logo o éter se torna também desnecessário.

Ao propor que a velocidade da luz é constante, independente do observador e da fonte, Einstein percebe que, para que isso seja válido, o espaço e o tempo deveriam se ajustar, ou seja, são entidades tão conectadas que formam um tipo de tecido.

Dessa forma, o espaço e o tempo deixam de ser imutáveis e estáticos, e o movimento pelo espaço afeta a passagem do tempo.

Resumo: Einstein, através de seus dois postulados:

- Mostra que a ideia do éter era desnecessária;
- O conceito de simultaneidade é relativo;
- Obtém as equações de Lorentz discutindo seus resultados físicos:
- A influência dos movimentos nas marchas dos relógios;
- E nas dimensões dos objetos.

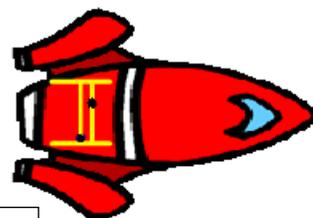
Ao contrário de Lorentz, que pensava que os objetos se contraíam em um meio estático, Einstein percebe que o espaço se curva e contrai os objetos, um efeito aparente ao observador!

Então, o tempo passa diferente para cada indivíduo, porém é bom lembrar que os efeitos são percebidos a velocidades muito altas, próximas a velocidade da luz.

Se considerarmos um sistema a baixas velocidades, as leis da mecânica clássica para os movimentos continuam sendo válidas, assim como as equações da mecânica relativística!

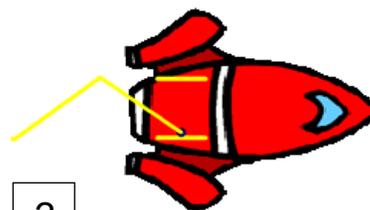
8- Equação da dilatação do tempo

A partir de uma concepção diferente de Lorentz, Einstein chega a equação de dilatação do tempo, a partir da seguinte ideia:



1

Avião em repouso em relação a você



2

Agora o avião está se movimentando a velocidade de $0,5c$ (c = velocidade da luz no vácuo), em relação a você.

Lembrando que calculamos a variação de velocidade através da equação:

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

Como estabelecemos uma relação entre os eventos, se os tempos são diferentes?

9- Um exemplo: As partículas elementares e o chuva cósmico

Na década de 1930, os cientistas acreditavam que a estrutura básica da matéria era quase totalmente conhecida. O átomo era constituído por apenas três partículas elementares: o elétron, o próton e o nêutron.

Uma partícula elementar ou partícula fundamental é uma partícula que não possui nenhuma subestrutura. Acreditava-se até então que o próton era uma dessas partículas, mas atualmente sabe-se que ele é composto por outras partículas chamadas quarks. Uma teoria surgiu na década de 60, a qual previa que os átomos são formados por muitas estruturas internas, e a maioria delas foram encontradas em experimentos com colisões entre partículas. Essa teoria é conhecida como Modelo Padrão, e explica características das partículas e suas interações.

O Modelo Padrão é uma teoria quântica de campos, consistente com a mecânica quântica e a relatividade especial, e já foi testada e verificada com a precisão de uma parte em um bilhão. Segundo essa teoria, as partículas elementares são classificadas em férmions e bósons. A matéria que compõe os objetos que nos rodeiam é feita de férmions. O Modelo Padrão descreve com sucesso três das quatro interações fundamentais: a interação forte, a interação fraca e a interação magnética, não conseguindo ainda descrever a interação gravitacional.

A ilustração abaixo mostra as 12 partículas elementares da matéria, das quais 6 são quarks (Up, Charm, Top, Down, Strange, Bottom) e as outras 6 são léptons (elétron, múon e tau), além dos bósons mediadores de interações (de cima para baixo: fóton, glúon, bóson Z e bóson W). A comprovação do quark top ocorreu em 1995, no Fermilab (Fermi National Accelerator) nos EUA, e teve

a participação de um grupo de pesquisadores brasileiros liderados pelo físico Alberto Franco de Sá Santoro.

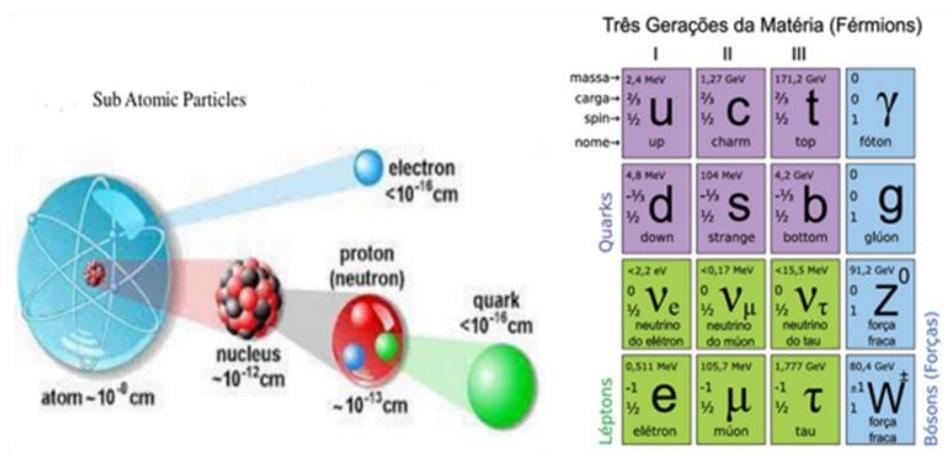


Figura 5- Partículas elementares e classificação de acordo com o Modelo Padrão.

Além das partículas elementares, ao final da década de 60 ainda foram descobertas outras partículas intermediárias, como o pión, cujo símbolo é π , e atualmente são conhecidas centenas de partículas que pertencem à essa classificação.

Dentre as inúmeras partículas descobertas, iremos nos ater aos múons e os píons, uma vez que a detecção dos múons tem uma intrínseca relação com a relatividade restrita. Os múons são partículas elementares de vida extremamente curta, se originam da partícula chamada pión. O pión por sua vez surge com as colisões de prótons com átomos dos gases em nossa atmosfera.

A formação dos múons se dá após raios cósmicos, (vindo possivelmente de supernovas) que ao chegaram na atmosfera da Terra acabam colidindo com átomos dos gases que a compõem.

Há muito tempo parte dessa radiação era detectada ao solo, mas sua origem era desconhecida, imaginava-se que poderia vir do centro da Terra ou do espaço extraterrestre.

Então, Victor Hess (1883-1964) instalou alguns eletroscópios em um balão detectando, pela primeira vez, uma radiação descendente. Após os estudos de Hess confirmou-se que essa radiação provém de fora do planeta, ou seja, uma radiação cósmica. Este fato abriu uma nova área de investigação associada à física moderna.

O físico francês Pierre Auger (1889-1993) descobriu que o impacto inicial de um raio cósmico em um núcleo atmosférico gera uma cascata de partículas, sendo detectadas por ele com detectores no solo dos Alpes, batizando o fenômeno “chuveiros aéreos extensos” (CAE).

Quando um raio cósmico de alta energia colide com os núcleos de moléculas na alta atmosfera terrestre, dá origem a uma sequência de interações nucleares e eletromagnéticas, produzindo essa cascata de partículas que se deslocam com velocidades próximas a velocidade da luz. Estas partículas são denominadas partículas secundárias.

Os CAE atualmente são detectados com aparatos experimentais que cobrem áreas de até milhares de quilômetros quadrados!

A quantidade de partículas de um CAE ao nível do mar pode chegar a dezenas de milhares de partículas e o número de múons pode representar até 15% do total de partículas carregadas.

Podemos dizer que bilhões dessas partículas atravessam nosso corpo a todo instante!

É possível ver no esquema abaixo a formação dos múons:

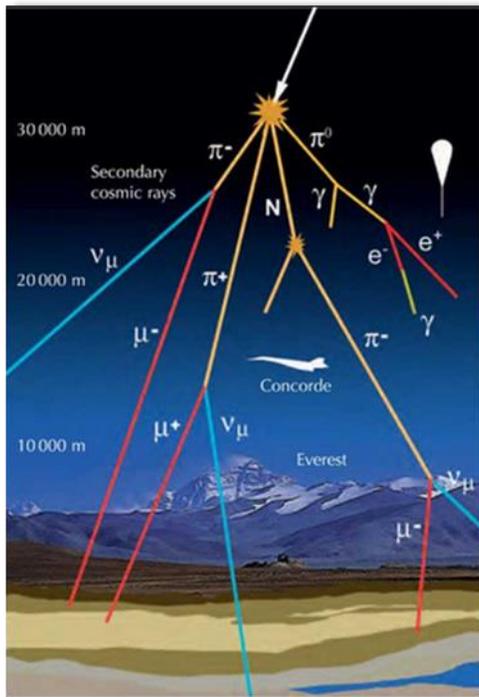


Figura 6 - representação do chuveiro cósmico

É possível observar que a maior parte das partículas que chegam ao solo são múons.

O físico Charles Wilson, em 1911 na Universidade de Cambridge, desenvolveu um experimento chamado “câmara de nuvens”, no qual estudou o fenômeno da formação de nuvens na atmosfera e verificou que íons poderiam servir como núcleos de condensação de vapor de água. Percebeu isto através da observação do ar dentro de recipientes fechados, ao resfriar se expandia e tornava-se supersaturado e a umidade condensava-se sobre partículas de pó. Wilson constatou que se um feixe de partículas carregadas atravessasse o recipiente com condições ideais, o vapor super-resfriado se condensaria em gotículas com a

passagem de um feixe de partículas carregadas. Com esse trabalho, Wilson recebeu o Prêmio Nobel de física em 1927.

Atualmente há grandes detectores de partículas, como o CMS (Compact Muon Solenoid) e o ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) entre outros que compõem o CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear). As câmaras de nuvens são utilizadas ainda em museus, a fim de demonstrar a visualização da interação da radiação com a matéria.

No que diz respeito às pesquisas realizadas no Brasil, vale destacar a década de 1930, quando a pesquisa em física se iniciava, o físico Gleb Wataghin reuniu um grupo a fim de estudar os raios cósmicos na recém-criada Universidade de São Paulo (USP). Um dos trabalhos mais relevantes publicados pelo grupo foi a identificação de chuviscos extensos dentro do túnel da Avenida Nove de Julho, que estava ainda sendo construído, em São Paulo.

Destaca-se nesse grupo o curitibano Cesar Lattes (1924-2005). Suas pesquisas se deram principalmente ao registrar a interação dos raios cósmicos com placas fotográficas em altas altitudes. Lattes foi então indicado por um amigo físico italiano a uma vaga no grupo de pesquisas do laboratório da Universidade de Bristol. O grupo era liderado pelo físico inglês Cecil Powell.

O japonês Hideki Yukawa já havia previsto a existência de uma partícula no núcleo atômico além dos prótons e nêutrons: o méson. Mas a comprovação experimental de sua existência foi feita por Lattes.

Lattes fez experimentos com chapas fotográficas muito sensíveis, levando-as ao topo do monte Chacaltaya, na Bolívia, a uma altura de cerca de 5.600 metros. Lattes levou as chapas para análise no laboratório de Bristol, e concluiu que quando os raios cósmicos colidiam com o núcleo de oxigênio e nitrogênio presentes na atmosfera, produziam dois tipos de partículas, o pión e o múon,

mas não sabia ainda que o múon era formado pelo decaimento do méson pí (ou pión). Cecil Powel foi laureado com o Nobel de Física de 1950, pelo desenvolvimento do método fotográfico para estudo de processos nucleares e por descobertas relacionadas com os mésons, fato considerado por muitos como injusto devido à importância de Lattes nesses estudos e o fato de não ter recebido o prêmio.

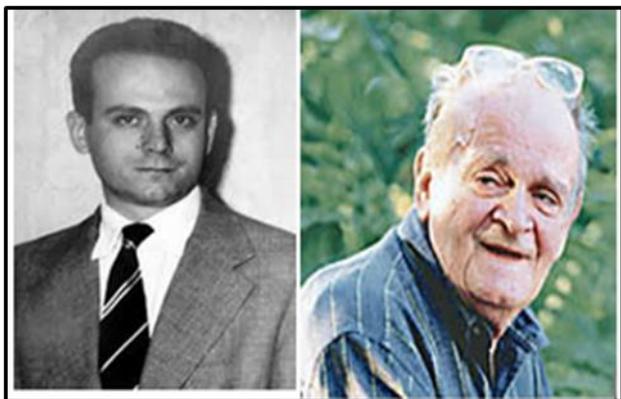


Figura 7- o físico brasileiro César Lattes, aos 24 anos quando detectou os pions e pouco tempo antes de falecer

10-E qual a relação entre os múons e a Teoria da Relatividade?

Agora vamos ver uma comprovação da Teoria da Relatividade Especial. Estudaremos a dilatação do tempo de vida dos múons na atmosfera terrestre.

Veremos que a abundância das partículas múons na superfície da Terra só pode ser explicada com o uso das equações relativísticas.

Os múons não sentem a interação forte do núcleo atômico e na sua trajetória perdem energia por ionização até decaírem. Isto faz com que a sua trajetória seja retilínea.

Para compreender como isso ocorre, vamos estudar a partir de um experimento realizado por David Frische e James Smith. Eles mediram o número de múons em um detector no alto do monte Washington, com altura de 1907 metros, e na mesma latitude, mediram o número de partículas que chegavam ao solo no laboratório ao nível do mar. O detector utilizado foi um cintilador, que consiste de um material que gera um pulso por luminescência na passagem de uma partícula carregada.

Foram detectados no monte uma média de 550 múons, com uma velocidade de aproximadamente $0,9952c$.

Qual será o número de múons que serão detectados ao nível do mar? Para responder a esta pergunta, devemos considerar o tempo de vida média do múon, que é de $2,2 \times 10^{-6}$ segundos.

Usaremos a equação que relaciona o número de partículas que sofrem decaimento em um certo tempo:

$$N = N_0 e^{-t/T}$$

Onde N é o número de partículas após um certo tempo;

N_0 é o número de partículas inicial;

T é a vida média da partícula;

t é o tempo que demora para a partícula percorrer os 1907 metros.

É esse t que precisamos medir para encontrarmos o número final de múons, que deverá coincidir com valor aproximado ao número detectado ao nível do mar.

Vamos encontrar esse tempo através da mecânica clássica:

$\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$; considerando tempo inicial e velocidade inicial = 0 e isolando o tempo:

$$t = \frac{x}{v} \Rightarrow t = \frac{1907}{0,992c} \Rightarrow t = 6,411 \times 10^{-6} \text{ segundos.}$$

Para esse tempo, o número de partículas detectadas ao nível do mar seria de:

$$N = N_0 e^{-t/T}$$

$$N = 550 e^{-6,411 \times 10^{-6} / 2,2 \times 10^{-6}}$$

$$N = 30 \text{ partículas.}$$

Porém, ao analisar os detectores instalados ao nível do mar, observaram uma quantidade de **397** múons, e agora, como explicar essa diferença?

Agora vamos efetuar o cálculo considerando os efeitos relativísticos do tempo:

Sabemos que os tempos em um evento são diferentes para dois observadores, vamos então calcular o tempo em relação a

partícula, como se estivéssemos viajando com ela, estaríamos em repouso em relação ao múon:

Organizando os dados, temos:

- O tempo medido pelo observador, $t = 6,41 \times 10^{-6}$ segundos;
- Velocidade da partícula, $v = 0,992c$
- Número inicial de partículas, $N = 550$
- Tempo de meia vida da partícula, $T = 2,21 \times 10^{-6}$ segundos;

Precisamos encontrar o tempo próprio, aquele em que consideramos estar em repouso em relação ao múon, usando a equação de dilatação do tempo:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 6,4 \times 10^{-6} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{(0,992c)^2}{c^2}}} \Rightarrow 6,4 \times 10^{-6} = \frac{\Delta t'}{0,12}$$

$$\Delta t' = 7,68 \times 10^{-7} \text{ segundos.}$$

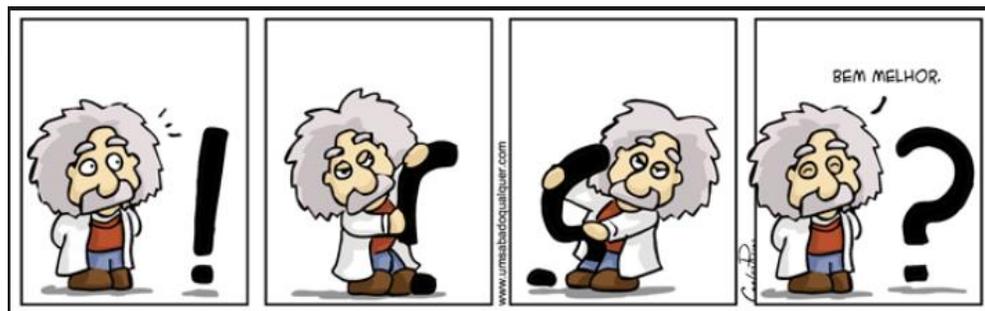
Para esse tempo, podemos calcular qual será agora o número de partículas:

$$N = N_0 e^{-t'/T}$$

$$N = 550 e^{-7,68 \times 10^{-7} / 2,2 \times 10^{-6}}$$

$$N = 387 \text{ partículas.}$$

Observe que o valor é muito mais próximo do valor detectado ao nível do mar! Devemos considerar ainda as aproximações matemáticas e a estimativa na contagem.



REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria C. B. Sobre o discreto charme das partículas elementares. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

ANJOS, João dos; SHELLARD, Ronald Cintra. **Raios Cósmicos: energias extremas no universo**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). 7ª, Campinas, 2004.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade: sobre a Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução Silvio Levy. Porto Alegre: L&PM, 2013.

HEWITT, R. **Física Conceitual**. Tradução Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravna. 9 ed. Porto Alegre; Bookman, 2002.

NEWTON, Isaac. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural**. 325 p. São Paulo: EdUSP, 2008.

PEDUZZI, Luiz. O. Q. **A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica**. Departamento de física, UFSC. Florianópolis, 2015.

SILVEIRA, Fernando. L.; PEDUZZI, Luiz. O.Q. Três episódios de descoberta científica: Da caricatura empirista a uma outra história. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.

STACHEL, John. 1905 e tudo o mais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 5 - 9, 2004.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R.A. **Física Moderna**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

APÊNDICE 2 – Atividade 1 - Relatividade De Galileu

Atividade 1- aula 2

Alunos: _____

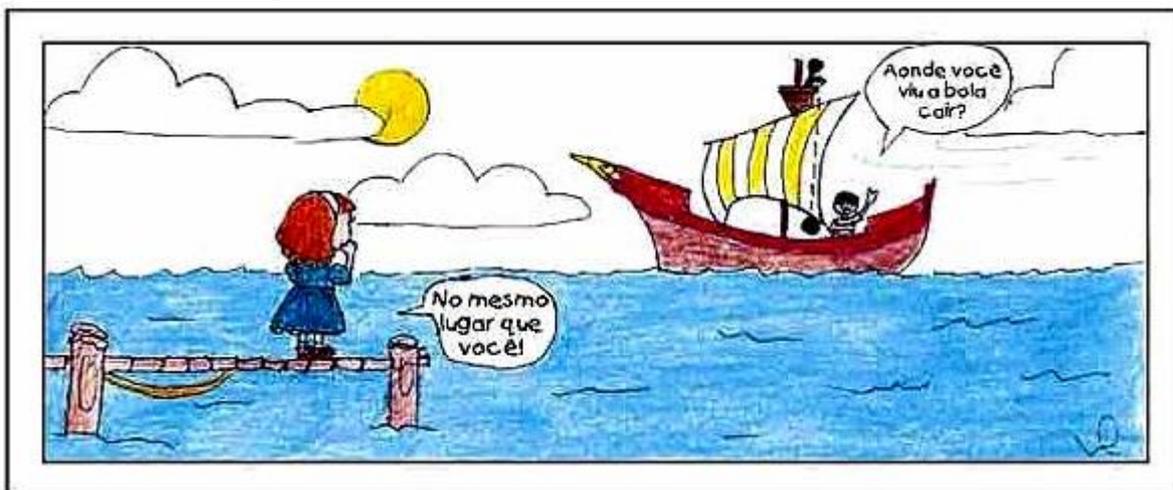
Princípio da Relatividade de Galileu

1. Observe os quadrinhos abaixo:



Descreva com suas palavras como poderia ser preenchido o último quadro, relacionando com o tipo de movimento que o barco realiza.

2. Analise a imagem abaixo:



a) Na primeira imagem os meninos dentro do navio viram a bola cair no pé do mastro, porque nessa imagem a menina, que não estava dentro do barco também viu a bola cair no pé do mastro? (Considere que o barco está em MRU)

APÊNDICE 3 – Atividade 2 – Dilatação Do Tempo

Atividade 2- aula 6

Alunos: _____

Teoria da Relatividade Restrita

3. Observe os quadrinhos abaixo:



Responda:

- 1) Calvin disse ao seu pai que talvez o carrinho não suportasse impactos contra objetos estacionários, uma vez que ele estará em movimento (a velocidade de 48 Km/h). Em relação a que referencial os objetos são estacionários? Em relação a que referencial o carrinho estará em movimento?

- 2) Calvin define a teoria da Relatividade da seguinte forma: “quanto mais rápido você vai mais lentamente o tempo passa”. Explique como ocorre essa relação, e qual o postulado de Einstein está relacionado.

- 3) Porque Calvin não conseguiu perceber a teoria da Relatividade em sua experiência?

APÊNDICE 4 – Roteiro Experimento Câmara De Nuvens

Alunos: _____

Roteiro para execução do experimento “Câmara de nuvens”

Materiais:

- 1 Copo de vidro ou plástico liso transparente;
- 1 tampa de metal pintada com tinta fosca preta (tampa de potes de conserva);
- 1 pedaço de feltro;
- Massinha de modelar;
- 15 ml de álcool isopropílico;
- Gelo seco (CO₂ em estado sólido) e Recipiente (em que se encaixe o copo) para colocar o gelo seco.

Procedimento:

- ✓ Recorte e encaixe o feltro no fundo do copo de vidro;
- ✓ Encharque com o álcool;
- ✓ Encaixe a tampa na boca do copo;
- ✓ Coloque o gelo no recipiente;
- ✓ Insira o copo no recipiente, com a tampa de metal virada para baixo.
- ✓ Ilumine o sistema e observe.

Ilustração do experimento:



4) Tire fotos dos traços e compare com a tabela abaixo:

Picture (from www.teilchenwelt.de)	Particle	Explanation
	Muon transformation	Kinks: - This could be a muon transforming into an electron and 2 neutrinos
	Photo-Electron	Curved tracks: - relatively slow particles scatter a lot via electromagnetic interaction - the lower the momentum of a particle, the more it scatters - Photoelectrons are low energy electron set free by high energy photons
	Alpha-particle	Thick straight tracks: - massive particle with high "ionisation density" - mostly alpha-particles if at sea level - source: Radon-222, natural radiation
	Electron or positron	Thin straight tracks: - Fast particles with high kinetic energy - They ionise molecules without scattering - high energy muons, electrons or their corresponding anti-particles
	Muon or anti-muon	Thin straight tracks: - Fast particles with high kinetic energy - They ionise molecules without scattering

Responda:

1) O que pode observar após um tempo na altura próxima da tampa metálica?

2) Como são as formar observadas?

3) O que você acha que são essas formas e de onde elas estão vindo?

APÊNDICE 5 – Slides

A relatividade restrita em uma abordagem integradora entre a mecânica clássica e as partículas elementares.

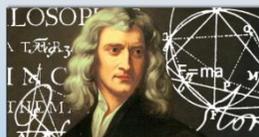


Einstein e Lorentz



1ª Lei de Newton

- *Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a mudar o estado em que se encontra por forças a ele aplicadas.*



Quando algo está em repouso e em movimento?

O que significa referencial inercial?

Movimento e repouso:

Precisamos definir um referencial

O que é MRU?

- Movimento retilíneo uniforme.
- * Repouso ou em velocidade constante.

Em relação a um referencial!!!!

ANIMAÇÃO: Quem está em repouso e quem está em movimento?



Referencial

- Sempre que falamos em movimento ou repouso, especificamos o referencial.
- Você consegue pensar em um referencial estático?

Para Isaac Newton o espaço era um referencial absoluto

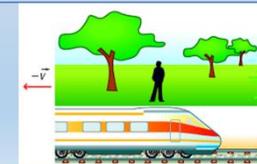
Resposta na apostila:

- O que significa dizer que um corpo está em repouso ou em movimento?
- O que é um referencial inercial e não inercial?



O observador junto à árvore diz: o trem move-se para a direita da folha com velocidade v

O observador dentro do trem diz: A paisagem move-se para a esquerda da folha com velocidade v



Os dois referenciais são igualmente válidos!

Aula 2 - princípio da Relatividade de Galileu



Galileu Galilei

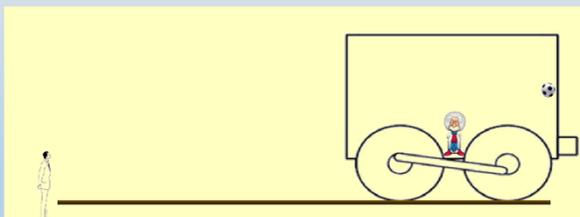
Não há um experimento na mecânica que permita distinguir um movimento retilíneo uniforme do repouso. As leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial.

VÍDEO- Relatividade De Galileu



- Galileu explica:
 - Há uma equivalência entre os dois referenciais: o saco compartilha do mesmo movimento do navio, que está em MRU, ou seja, sua velocidade é constante.
 - Lembra a primeira lei de Newton!
 - As leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial.
- O Princípio da Relatividade de Galileu:
 - Não há um experimento na mecânica que permita distinguir um movimento retilíneo uniforme do repouso. As leis da mecânica são as mesmas em qualquer sistema de referencial inercial.
 - Do mesmo modo que uma pessoa no cais observaria o mesmo movimento de queda do saco, estando em repouso em relação ao solo. (primeira lei de Newton!)

Adição de velocidades na MC - animação



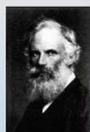
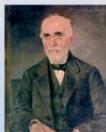
Velocidade da luz

- ✓ Galileu tentou medir a velocidade da luz, pelo tempo que demorava para ela se propagar de um colina à outra, não conseguiu, mas já suspeitava que era finita.
- ✓ O dinamarquês Olaf Roemer (1644-1710) tentou calcular a velocidade da luz observando eclipses entre Júpiter e uma de suas luas.
- ✓ Christian Huygens, com os resultados de Olaf, chega ao valor de $2,2 \cdot 10^8$ Km/s.
- ✓ James Clark Maxwell chegou ao valor de $3 \cdot 10^8$ m/s.
- ✓ Atualmente admite-se o valor mais exato de 299.792.458 Km/s.

Concepções do espaço e do tempo na MC

- Para Newton, o tempo e o espaço são absolutos;
- O espaço é um referencial estático e imutável (éter);
- O tempo medido por dois observadores em um evento é o mesmo, inclusive os que envolvem a velocidade da luz (simultaneidade);
- Experimentos realizados não detectavam o tal éter, a luz com velocidade finita, porém com velocidade inconstante.

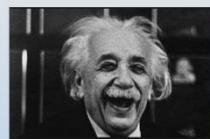
- Hendrik Lorentz (1853-1928)



George Fitzgerald (1858- 1901)

Chegam a conclusão que os corpos rígidos se contraem na direção do movimento pelo éter, porém não conseguem explicar fisicamente o fenômeno.

Até que...



Albert Einstein (1879-1955)

Com dois postulados, muda toda a concepção de espaço e de tempo que se tinha até então!

Simultaneidade

- Uso do simulador individual:
- <http://www.ifi.unicamp.br/~fauth/simultaneidade.swf>

Retomando a simultaneidade na relatividade- animação



Postulados de Einstein

- *As leis da física são as mesmas em todos os referenciais que se movem com movimento relativo uniforme um em relação ao outro, ou seja, em todos os referenciais inerciais;*
- *A velocidade da luz no espaço vazio é a mesma em todos os sistemas de referencias e não depende da velocidade do emissor.*

Vídeo espaço e tempo- 20 min...

- Questões para discussão.
- Questões para responder em casa.

Dilatação do tempo - animação

- Dedução da
- equação da dilatação do tempo, no MD p. 6 e 7;



Resolução de exercício Paradoxo dos gêmeos

Ao fazer 15 anos de idade, Guilherme recebe de presente uma viagem em uma nave espacial que viaja a $\frac{12}{13}c$. Após 5 anos de viagem (no relógio de Guilherme) ele faz meia volta e retorna com a mesma velocidade para se encontrar com sua irmã gêmea Tamara, que havia ficado em casa. Determine as idades de Guilherme e Tamara.

Vídeo – paradoxo dos gêmeos



Experimento detecção raios cósmicos

Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear CERN

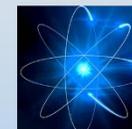
Picture from www.nsl.brown.edu	Particle	Explanation
	Muon or anti-muon	They straight tracks Fast particles with high kinetic energy They cause ionization without scattering high energy muons, electrons or their corresponding anti-particles
	Alpha-particle	They straight tracks "massive particle with high "ionization density" mostly alpha-particles of an ionized source: Radium-226, nuclear radiation
	Electron (beta from beta emission)	Curved tracks relatively slow particles scatter a lot via electromagnetic interaction the lower the momentum of a particle, the more it scatters
	Photo-Electron	Photoelectrons are low energy electron set free by high energy photons
	Muon transformation	Kinks This could be a muon transforming into an electron and 2 neutrinos

Vídeo câmara de nuvens



As partículas elementares e o chuva cósmico

- O átomo indivisível;
- constituintes do átomo;
- Acreditava-se que o próton era uma partícula elementar.



Atividades relatividade

- Atividade quadrinhos;
- Exercício pra casa;
- Preencher roteiro do experimento.

Monte Washington



Qual a relação entre os múons e a Teoria da Relatividade?

- **Através do cálculo da dilatação do tempo de vida dos múons!**
- **A abundância do número dessas partículas detectadas só pode ser explicada se considerarmos a dilatação do tempo.**

Nobel de Física de 1950



Cecil Powell

Estudo dos raios cósmicos no Brasil.



César Lattes

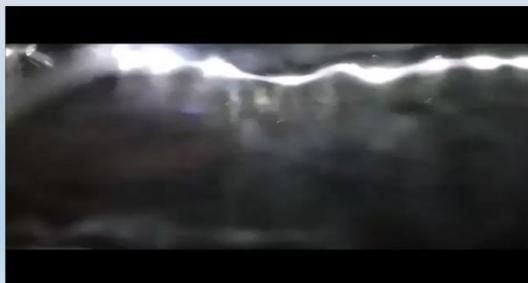
Rastros de condensação.



Câmara de nuvens, vídeo – museu da PUC



Vídeo do experimento – câmara de nuvens



Detecção das partículas cósmicas.

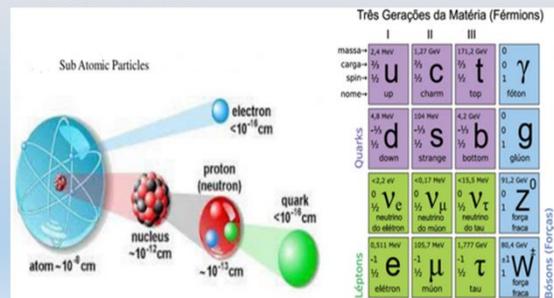
- Charles Wilson



Modelo Padrão

- Década de 60;
- Descreve com precisão três das quatro interações fundamentais;
- Classifica as partículas em famílias;
- Os prótons não são partículas elementares;
- Todas as previsões feitas pelo MD foram comprovadas;
- Fermilab – Alberto Franco de Sá Santoro- quark top;
- CERN.

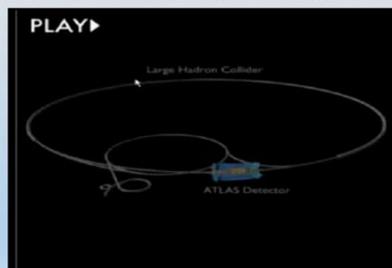
Modelo Padrão



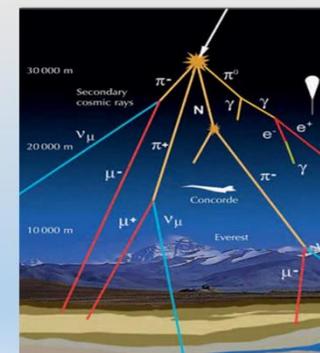
CERN



Vídeo Cern – como ocorrem as colisões



Chuveiro cósmico - vídeo



Os múons e os píons

- **Relação com a Relatividade Restrita;**
- Os píons (π) se formam das colisões de prótons com átomos de gases na nossa atmosfera;
- Após isso, decaem em múons.



APÊNDICE 6 – Questionário 1 -

Nome:

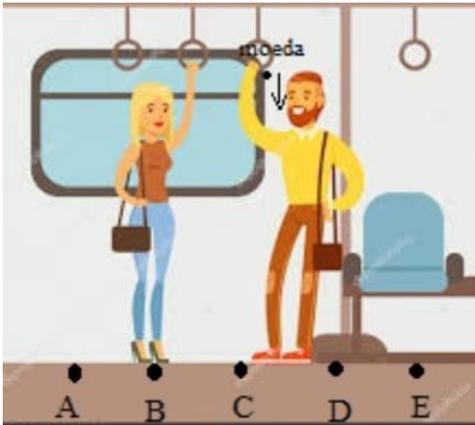
turma:

data:

Avaliação de Física- Relatividade

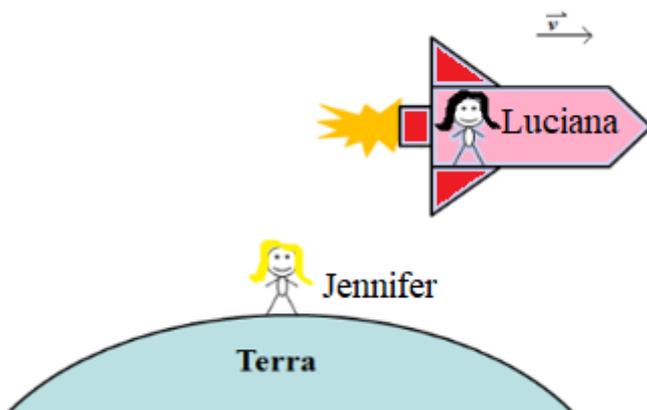
Questionário avaliativo conteúdo

1. Se você estivesse em um ônibus sem janelas que se desloca, com velocidade constante, (a) poderia sentir diferença entre esse movimento e o repouso? Explique. (b) se um amigo seu deixasse cair uma moeda, próximo ao qual ponto do desenho ela cairia? Explique.



2. Imagine duas naves que viajam no espaço com velocidades altíssimas em uma mesma direção, mas em sentidos opostos. Cada nave possui uma velocidade diferente e constante. Um pulso de luz é projetado dentro das naves, no sentido do movimento. Considerando a teoria da relatividade, explique qual será a velocidade de um pulso de luz emitido por uma das naves.

3. Luciana e Jennifer são irmãs gêmeas. No aniversário de 18 anos Luciana ganhou uma viagem em uma nave espacial. Para um observador na Terra, a nave se desloca a 180.000 Km/s (ou $0,6c$). No relógio de Luciana, é medido um tempo de 10 anos, de ida e volta para a Terra. Quanto tempo é medido no relógio de Jennifer? Qual a idade de Jennifer no encontro das duas? E qual a idade correta de Luciana? Explique.



4. Explique porque devemos considerar a teoria da relatividade na detecção dos múons na superfície da Terra?

APÊNDICE 7– Questionário 2- Avaliação das aulas pelos alunos

Nome:

turma:

data:

Avaliação de Física- Relatividade

Avaliação das aulas:

1. O que você achou das aulas sobre relatividade? Comente.
2. O que você achou do tema trabalhado? Comente.
3. Qual sua opinião sobre a estrutura das aulas (simulações, animações, atividades em quadrinhos, vídeo...)? Comente.
4. Quais foram suas dificuldades ao longo das aulas? Comente.
5. Como você considera o seu desempenho nas aulas?

Postulados da teoria da relatividade restrita:

- *As leis da física são as mesmas em todos os referenciais que se movem com movimento relativo uniforme um em relação ao outro, ou seja, em todos os referenciais inerciais.*
- *A velocidade da luz no espaço vazio é a mesma em todos os sistemas de referenciais e não depende da velocidade do emissor.*