



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**FACULDADE DE FÍSICA**

**YURI ALVES MENDES**

**RELATIVIDADE RESTRITA: UMA ABORDAGEM NO ENSINO MÉDIO**

Belém  
Dezembro 2019

**YURI ALVES MENDES**

**RELATIVIDADE RESTRITA: UMA ABORDAGEM NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de pesquisa apresentado como requisito para conclusão do curso de licenciatura em Física na Universidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof. Dr. Rubens Silva.

Belém  
Dezembro 2019



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
FACULDADE DE FÍSICA**

**ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO –  
TCC**

Ata da sessão de apresentação e defesa de Trabalho de Conclusão de Curso para concessão de grau de Licenciado(a) Pleno(a) em Física, realizado às 10:00h do dia 18 de Dezembro de 2019, no Auditório do Laboratório de Física - Ensino, cuja orientação teve início em 03 de Junho de 2019 sendo intitulada: **"RELATIVIDADE RESTRITA: Uma Abordagem no Ensino Médio"**, contendo 30 páginas, que foi apresentado durante 30 minutos pelo(a) discente **Yuri Alves Mendes**, matrícula Nº **201608140075** diante da banca examinadora aprovada pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, assim constituída: Prof. Dr. *Rubens Silva* (Orientador - UFPA), Prof. MSc. *Elder Raimundo Rodrigues Lopes Junior* (MNPEF- UFPA), e Prof. *Paulo Nogueira Freitas de Oliveira* (MNPEF- UFPA). Em seguida o(a) mesmo(a) foi submetido à arguição, tendo demonstrado conhecimentos no tema objeto da proposta de TCC, favorecendo à banca examinadora apresentar contribuições para melhoras no desenvolvimento e decidir pelo conceito EXCELENTE do mesmo, bem como conceder o prazo máximo de 15 dias para serem efetuadas as modificações sugeridas pela banca, se for o caso, e em seguida a mesma será assinada por todos os membros. Para constar foram lavrados os termos da presente ata que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e do(a) DISCENTE.

ORIENTADOR: \_\_\_\_\_

EXAMINADOR1: \_\_\_\_\_

EXAMINADOR 2: \_\_\_\_\_

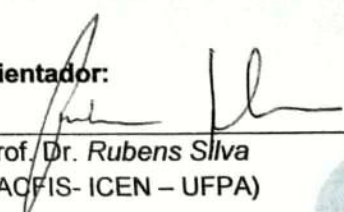
DISCENTE: \_\_\_\_\_

## YURI ALVES MENDES


### "RELATIVIDADE RESTRITA: UMA ABORDAGEM NO ENSINO MÉDIO"

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciado Pleno em Física pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal Pará, submetida à apreciação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

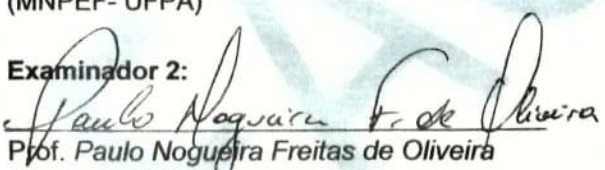
**Orientador:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rubens Silva  
(FACFIS- ICEN – UFPA)

**Examinador 1:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Elder Raimundo Rodrigues Lopes Junior  
(MNPEF- UFPA)

**Examinador 2:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Nogueira Freitas de Oliveira  
(MNPEF- UFPA)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força para superar as dificuldades. A minha família por todo apoio e incentivo que me deram ao longo do tempo, especialmente a minha mãe por sempre zelar e cuidar de mim, me ajudando a alcançar meus sonhos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Silva, por todo o crédito depositado em mim. Agradeço aos meus amigos da turma por todos os momentos e brincadeiras.

Não posso deixar de agradecer a UFPA por ser um espaço que privilegia o conhecimento e onde todas as ideias são bem recebidas.

Dedico este trabalho a meu filho Isaac Mendes, que sua presença é combustível diário para que eu possa ir em busca de me tornar um ser humano melhor, batalhando diariamente pelos meus sonhos.

E por fim, mas não menos importante agradeço a Thamyres Quaresma, por estar comigo durante essa caminhada, por me aturar falando sobre física, por me mostrar que posso ser uma pessoa melhor.

**“Faça as coisas o mais simples possível, mas  
não se restrinja somente ao simples.”**

Albert Einstein

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relatividade da simultaneidade. ....	17
Figura 2. Representação da trajetória da luz observada pelo passageiro do trem. ....	19
Figura 3. Representação da trajetória da luz para ambos os observadores .....	20
Figura 4. Representação de um observador na terra vendo uma nave deslocando se entre duas estrelas. ....	22
Figura 5. Alunos do 3º ano.....	28
Figura 6. Alunos em aula .....	28
Figura 7. Aplicação do conteúdo em sala de aula. ....	29

## **RESUMO**

Neste trabalho, foi feita uma abordagem para difundir o ensino de Relatividade restrita no ensino médio, em uma escola da rede pública de Belém, tornando um estudo mais dinâmico e interativo, onde os alunos recebam as informações de forma simples e eficiente. Para isso foi ministrada três aulas cedidas pelo professor titular da turma, mostrando os conceitos de relatividade de Galileu e de Einstein, assim como seus postulados, tanto na teoria ou através de apresentação de imagens e vídeos de aplicações no cotidiano e sobre os autores das teorias foram para facilitar a ideia para os alunos de acordo com as competências específicas da BNCC na área de ciências da natureza . Para verificar essa assimilação por parte dos alunos foi proposto dois testes, uma antes de cada assunto para avaliar o conhecimento prévio de cada aluno e outro posterior a aplicação dos conteúdos com intuito de ver a postura de cada um no final.

**Palavras chaves:** Relatividade, Ensino, BNCC.

## **ABSTRACT**

In this work, an approach was made to disseminate the teaching of strict relativity in high school in a public school in Belém, making it a more dynamic and interactive study, where students receive information simply and efficiently. For this, three classes were given by the class teacher, showing the concepts of relativity of Galileo and Einstein, as well as their postulates, either in theory or through the presentation of images and videos of everyday applications and about the authors of the theories. were to facilitate the idea for students in line with BNCC's specific skills in the field of natural sciences. To verify this assimilation by the students, two tests were proposed, one before each subject to evaluate the previous knowledge of each student and another after the application of the contents in order to see the posture of each one at the end.

**Keywords:** Relativity, Teaching, BNCC.

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1. CAPÍTULO 1 – RELATIVIDADES</b> .....	<b>14</b>
1.1 RELATIVIDADE DE GALILEU .....	14
1.1.1 Transformações de galileu.....	15
1.2 RELATIVIDADE DE EINSTEIN .....	16
1.3 RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE .....	16
1.4. AS TRANSFORMAÇÕES DA RELATIVIDADE DE EINSTEIN .....	17
1.5. TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ .....	18
1.6. DILATAÇÃO DO TEMPO .....	19
1.7. CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO .....	21
1.8. MASSA E ENERGIA .....	23
<b>2. CAPÍTULO 2 - A BNCC</b> .....	<b>25</b>
2.1. A BNCC DO ENSINO MÉDIO .....	25
2.2. A ÁREA DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS NA BNCC .....	25
<b>3. CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDO .....	27
3.2. POPULAÇÃO .....	27
3.3. TIPO DE PESQUISA.....	27
<b>4. CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>31</b>

## INTRODUÇÃO

Por volta do fim século XIX, a ideia de espaço-tempo era apontada como absoluto e livre um do outro. Admitia-se esses dois como universal e formando um universo euclidiano. Para Isaac Newton, o espaço tinha uma natureza celestial (NEWTON, 1704), admitido como a sensória de Deus (COYNE, G. V.; HELLER, M.; ZYCINSKI, J). Foi Albert Einstein (1879-1955) quem atribuiu, em 1905, um tributo essencial à física (STACHEL 2001), reconstruindo o conceito de relatividade de Galileu e de Newton.

Esse tributo mostra uma visão de mundo diferente a daquele tempo (EINSTEIN, 1961; CARUSO, OGURI, 2006.) e teve consequências gigantescas na análise e no desenvolvimento da física a partir daí, no desenvolvimento tecnológico principalmente, até ao ponto de mostrar grandes alterações nos conceitos de espaço, tempo, massa e energia.

Conjuntamente, de acordo com Delizoicov & cols (2007) que mostraram que os trabalhos divulgados na área provam a necessidade de encaixar conhecimentos recentes em ciência e tecnologia nas aulas, entretanto sinalizam que são poucas as inserções de física moderna na educação básica. De acordo com Terrazzan (2007) que defende um ensino de ciências que contemple os aspectos da vida dos estudantes. Considerando no caso da disciplina de física, alguns defendem a inserção no ensino médio de conteúdos relacionados à física moderna e atual como, por exemplo, Ostermann e Moreira (2000) e Oliveira e Viana (2004).

No fato da Física, um fenômeno de relação dedutiva representa, um elemento a ser estudado, já que nesta matéria existe uma notável dificuldade por parte dos estudantes (ALMEIDA, SOUZA, SILVA, 2006). Embora existam muitas pesquisas voltadas para análise da comunicação entre os estudantes e professores, grande parte dos registros apontam para interações conduzidas unicamente pelo professor (AGUIAR, MORTIMER, 2005; MORTIMER, 2006;) ou para algumas argumentações em que o professor se baseia somente em livros didáticos e similares (GOULART, 2007; COULINVAUX, 2007)

Quando falamos de ensino básico nos dias atuais precisamos ter como referência a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é um documento de normativo que define o conjunto de aprendizagens obrigatórias que todos os estudantes devem desenvolver ao longo do ensino médio, de

modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE).

Este documento normativo fala sobre a educação escolar, tal como a define o 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996)<sup>1</sup>, e está alinhado pelos princípios estéticos, éticos e políticos que objetiva à formação humana integral e à construção de uma sociedade igualitária, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) de acordo com o Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Secretaria de Educação Continuada.

Citada nacionalmente para a reconstrução dos currículos das redes escolares dos estados, e dos municípios e das propostas pedagógicas das instituições de ensino, a BNCC integra a política nacional da educação básica e vai contribuir para o direcionamento de outras políticas e ações, em âmbito nacional, tanto para formação de educadores, à avaliação, à construção de conteúdos educacionais e critérios para infraestrutura adequada para o desenvolvimento da educação.

Este trabalho tem como objetivo geral propor o ensino dos conceitos e aplicações da relatividade restrita para o ensino básico e como objetivos específicos: Analisar e conceituar as relatividades, transmitir a relatividade restrita de Einstein no ensino básico. O presente trabalho justifica-se pela falta de interesse no aprendizado é o principal fator de evasão escolar entre jovens de 15 a 17 anos no Brasil, dentre os fatores pesquisados o desinteresse atinge 40,1%, segundo pesquisa do IBGE. (CARDOSO, 2015). O contexto que gera o desinteresse do aluno é multifatorial e está intimamente relacionado a dificuldade de compreensão e aplicação do conteúdo em vivências práticas, ou seja, o aluno não entende como os conteúdos abordados em sala de aula podem ser utilizados em seu dia a dia de forma benéfica e palpável. A utilização de recursos pedagógicos e o tipo de metodologia trabalhada pelos professores podem contribuir positivamente para a mudança nesse percentual de evasão.

A aceleração dos conteúdos vistos em sala de aula é um grande problema na aprendizagem qualitativa, pois este método tem como foco cumprir o vasto programa de física no ensino médio, trabalhando quantitativamente os assuntos abordados, afim do professor terminar seu plano pedagógico. Deixando de lado uma abordagem qualitativa significativa os alunos acabam passando despercebidos para a compreensão de alguns conceitos mais complicados. A resolução deste problema não seria absolutamente diminuir a quantidade de assuntos trabalhados, mas enfatizar alguns conceitos

mais importantes, no qual possa vir a se tornar útil possível associações de fenômenos físicos com o cotidiano. (Barreto & Xavier, 2016)

Um dos argumentos apresentados para ensinar física moderna no ensino básico se baseia na importância que esses assuntos têm em mostrar a descrição científica para aparelhos tecnológicos do dia-dia dos alunos como é o caso do aparelho de micro-ondas, GPS, laser, raios X, entre outros.

Para efeito didático este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos: **Capítulo 1**, que trata de um modo especial as Relatividades, no **Capítulo 2**, abordaremos as recomendações da BNCC, no **Capítulo 3**, daremos destaque a metodologia utilizada no trabalho, **No Capítulo 4**, faremos a análise dos resultados e por fim as considerações finais e referências bibliográficas.

# 1. CAPITULO 1 – RELATIVIDADES

## 1.1 Relatividade de Galileu

Desde sempre a humanidade investiga para compreender melhor o mundo, assim como a natureza. Essa busca para descrever o movimento dos corpos já aparece antes de Cristo. A ascensão da descrição do movimento de um corpo em comparação a outro, em movimento uniformes ou acelerados, teve seu início com o filósofo grego Zenão, de Eléia (500 – 451 a.C.), chegando até os artigos de Albert Einstein, em 1905, com a teoria da relatividade restrita. Zenão considerava que se dois bastões A e B se movendo com velocidades iguais, porém de sentidos opostos em relação a um terceiro bastão C, mantido fixo, um observador em A ou B mediria a velocidade do bastão em B ou A como duas vezes maior do que a medida por C. Zenão concluiu que este movimento era impossível, passando a chamá-lo de paradoxo dos bastões em movimento.

Galileu Galilei foi o primeiro homem que observou o céu com um telescópio, aderindo entusiasticamente ao sistema heliocêntrico proposto por Copérnico, o que, aliás, lhe custou muitos contratempos (HALLIDAY,1995).

Além do debate do movimento dos planetas, Galileu contribuiu muito para o desenvolvimento da mecânica, determinando as leis da queda livre de um corpo e demonstrando o método experimental em física. Galileu utilizou o princípio da relatividade dos movimentos, ou princípio da independência dos movimentos, para demonstrar a trajetória parabólica dos projéteis. Consideremos o seguinte exemplo: um projétil lançado a partir do solo com um certo ângulo de lançamento pode ter seu movimento decomposto em dois movimentos independentes: um horizontal e outro vertical. (Barreto & Xavier, 2010)

No lançamento de um projétil verticalmente para cima, sobre uma plataforma em movimento retilíneo e uniforme, um observador que esteja sobre a plataforma em movimento verá a trajetória do projétil como retilínea de ida e volta. Quanto a um observador que esteja parado no solo, onde a plataforma está em movimento, visualizará a trajetória do projétil como parabólica. Assim, cada observador terá uma visão diferente do movimento.

Dessa forma, Galileu conseguiu resolver o paradoxo de Zenão, mostrando que a caminho e velocidades são dependentes do referencial de onde se observa o movimento. Então, para descrevermos o movimento dos corpos quantitativamente é necessário adotarmos um referencial, como por exemplo, as paredes da sala de aula, onde podemos considerar que existam três eixos

imaginários que se cruzam ortogonalmente. Além do referencial, o observador necessita de um relógio para poder descrever quantitativamente o movimento. A relatividade de Galileu, de acordo com Einstein, trata da descrição de movimentos em relação a um referencial inercial, ou seja, um referencial em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme (não acelerado) em relação a outro referencial (HALLIDAY,1995).

### 1.1.1 Transformações de galileu

Consideremos dois referenciais inerciais: um deles S, formado pelos eixos x, y e z, em repouso em relação à terra e outro, S', formado pelos eixos x', y' e z', paralelos a x, y e z, respectivamente, e com velocidade v na direção do eixo x em relação ao sistema de coordenadas S. Consideremos que um evento ocorra em um ponto P, que pode ser identificado pelo conjunto de quatro coordenadas em cada referencial: em S (x, y, z e t) e S' (x', y', z' e t'), sendo que as três primeiras coordenadas de cada referencial localizam o ponto no espaço, enquanto a quarta coordenada indica o momento da ocorrência do evento. Se considerarmos que inicialmente os referenciais S e S' coincidem em  $t = t' = 0$ , temos que  $x_0 = x'_0$ ,  $y_0 = y'_0$  e  $z_0 = z'_0$ . (Barreto & Xavier, 2016).

Agora, consideremos um instante posterior  $t = t' > 0$ . O referencial S' terá se deslocado de uma distância (v.t), em relação ao referencial S. Então, podemos relacionar as coordenadas dos dois referenciais da seguinte forma:

$$x = x' + v.t. \tag{1}$$

$$y = y'. \tag{2}$$

$$z = z'. \tag{3}$$

$$t = t'. \tag{4}$$

Note que estamos fazendo  $t = t'$  (os relógios estão sincronizados). Isto, porque para Galileu o tempo é absoluto, independente do referencial, o que chamamos de invariância do tempo. Isto está de acordo com o nosso senso comum, pois se não fosse assim, teríamos que sincronizar os

nossos relógios regularmente. Uma consequência direta da invariância do tempo, segundo as transformações de Galileu, é que o comprimento não varia também. (Barreto & Xavier, 2010)

Analisando, pelas transformações de Galileu concluímos que o comprimento e o tempo, são absolutos, não importando o referencial aplicado. Galileu afirmou ser impossível determinar se um navio estava parado ou em movimento uniforme, realizando uma experiência mecânica em um dos seus camarotes. Com esta afirmação, podemos concluir que as leis da Mecânica são invariantes perante uma transformação de Galileu. (Barreto & Xavier, 2010).

### **1.2 Relatividade de Einstein**

Albert Einstein, em 1905, escreveu cinco grandes artigos, dentre os quais um deu origem à teoria da relatividade restrita, perante o título sobre a *Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*. A condição para validar as equações de Maxwell em qualquer referencial inercial levava à invariância da velocidade da luz, o que contradizia a relatividade de Galileu. Einstein considerou que a velocidade da luz é constante para qualquer referencial inercial, o que causou sérias modificações nas concepções de tempo e espaço aceitas até a época.

Einstein enunciou dois postulados: o primeiro diz que as leis da Física são iguais para qualquer referencial inercial e o segundo fala que a luz sempre se propaga no espaço vazio com velocidade constante igual a  $c$ .

O primeiro postulado está associado diretamente às leis da Mecânica, termodinâmica, Óptica e do Eletromagnetismo, é uma globalização da relatividade de Galileu e de Newton, que se aplicava na mecânica.

### **1.3 Relatividade da simultaneidade**

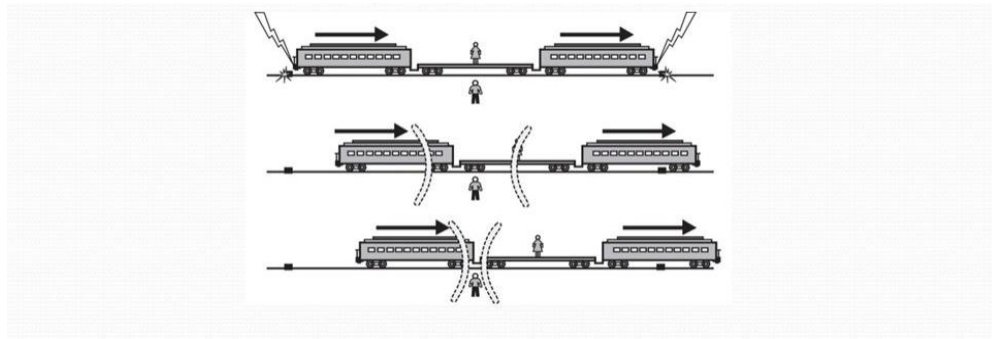
Para Galileu, dois eventos são coincidentes para qualquer observador desde que, em qualquer referencial inercial, ocorra a simultaneidade. Isto porque, para Galileu, o tempo é absoluto, não importando o referencial que estivermos utilizando. Para Einstein, o conceito de tempo deixou de ser absoluto e passou a ser relativo. Eventos simultâneos, em um determinado referencial inercial, não serão necessariamente simultâneos em outro referencial inercial. Assim, a noção de simultaneidade também é relativa. (Barreto & Xavier, 2010).

Vamos para um exemplo simples. Consideremos um trem (fig. 01) que se desloca com velocidade relativística constante  $v$  (próxima à da luz), com um observador  $S'$  que está no meio do trem, e um observador  $S$  que se encontra na plataforma fora do trem, e que estão se cruzando

exatamente quando os raios ocorrem. Agora consideramos que dois raios atinjam as posições da frente e atrás do trem, do ponto de vista do observador S, ao mesmo tempo.

Os eventos serão simultâneos para o observador S, pois os dois raios irão atingi-lo ao mesmo tempo. Já para o observador que está no referencial no interior do trem (referencial S') os eventos não serão simultâneos, ou seja, ele verá primeiro o raio da frente, pois é neste sentido que se desloca o trem, e depois verá o raio de trás.

Isto está de acordo com o segundo postulando de Einstein que fala da invariância da luz, por tanto, para qualquer que seja o observador inercial, ambos os raios se movem com a mesma velocidade  $c$ . Então, S' é levado a concluir que o raio produzido na frente do trem foi emitido primeiro do que o outro, ou seja, para este observador os raios não são simultâneos. Mas quem está com a razão, o observador S ou o observador S'? Os dois estão corretos; mesmo sendo estranho, não existe ao uma resposta certa para isso. A simultaneidade é uma noção relativa e não absoluta. (Barreto & Xavier, 2016).



Fonte: Livro didático (Física aula por aula)

Figura 1. Relatividade da simultaneidade.

Na mecânica de galileu dois eventos em dois referenciais inerciais diferentes sempre serão simultâneos, pois o tempo é absoluto. Já na relatividade de Einstein dois eventos que são simultâneos num referencial inercial não são simultâneos em nenhum outro referencial que esteja em movimento em relação ao primeiro.

#### 1.4. As transformações da relatividade de Einstein

O princípio da constância da velocidade da luz para qualquer referencial inercial gerou a necessidade de que as transformações propostas por Galileu sofressem modificações. Isso ficava

claro, por exemplo, quando se examinavam as chamadas equações de Maxwell (que representam as leis do Eletromagnetismo). Nesse caso, mostrava-se evidente que, quando as equações eram escritas em outro referencial inercial utilizando as transformações de Galileu, chegava-se a uma situação de inconsistência com três possíveis caminhos:

- A relatividade de Galileu valeria apenas para a mecânica de Newton.
  - A relatividade de Galileu valeria tanto para as equações da mecânica de Newton quanto para as equações de Maxwell, mas essas últimas deveriam ser alteradas.
  - As equações permaneciam válidas, mas a relatividade de Galileu deveria ser modificada.
- Surgiam, assim, os trabalhos do Físico Hendrik Lorentz propondo uma alternativa às transformações de Galileu, incorporando a hipótese de termos o mesmo valor para a velocidade da luz quando medida em qualquer referencial. (Barreto & Xavier, 2010)

A luz tem uma característica fundamental que é a de não "somar velocidades". Por exemplo, se acendermos uma lanterna em cima de um carro a 30 m/s (108 km/h), a velocidade da luz continuará sendo 300 000 km/s e não 300 000 030 m/s, como seria o esperado para qualquer corpo material. Se quisermos descrever o movimento de um ponto material, o primeiro passo é escrever suas coordenadas como função do espaço e do tempo. Suponhamos assim a existência de dois referenciais inerciais,  $R$  e  $R'$ , com coordenadas dadas por  $(x, y, z, t)$  e  $(x', y', z', t')$ , respectivamente.

Imaginemos uma situação em que os eixos "x" dos referenciais (ou seja,  $x$  e  $x'$ ) são paralelos. Suponhamos ainda que  $R'$  possui uma velocidade  $u$  em relação a  $R$  na direção  $x$ . Uma hipótese crucial surge nesse ponto, a que define como são feitas as medidas de espaço e de tempo em cada referencial. Primeiramente, supõe-se que a distância entre dois pontos quaisquer no espaço é sempre medida com uma barra rígida que deve estar em repouso no referencial de interesse. Da mesma forma, o tempo em cada um dos referenciais deve ser medido por relógios e repouso em cada um dos referenciais. (Barreto & Xavier, 2016).

### **1.5. Transformações de Lorentz**

Utilizando as ideias mencionadas, que, em termos simples, estabelecem como devem ser entendidas as medidas do tempo e do espaço na Teoria da Relatividade, é possível finalmente chegar à forma funcional das hoje chamadas transformações de Lorentz. Essas transformações relacionam as medidas da posição e do tempo feitas por observadores em cada um dos referenciais. São elas:

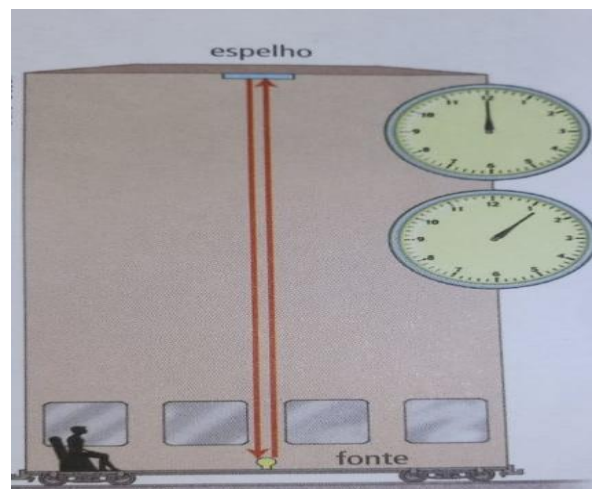
$$x' = \gamma(x - ut) \quad \text{e} \quad t' = \gamma\left(t - \frac{ux}{c^2}\right) \quad (1) \text{ e } (2)$$

O coeficiente  $\gamma$  é definido pela expressão:  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$  (3)

Note que, quando um corpo apresenta velocidades cujos valores são muito pequenos em relação à velocidade da luz, o valor de  $\gamma$  fica muito próximo de 1.

### 1.6. Dilatação do tempo

Já vimos a questão sobre a relatividade da simultaneidade de um evento. A partir dessas conclusões, Einstein explicou que o tempo não passa da mesma forma em todos os referenciais. Assim, o relógio de um indivíduo, em certas situações, pode bater mais lentamente que o de outro indivíduo. Isso acontece não por alguma falha mecânica ou digital, mas porque o transcorrer do tempo é diferente para referenciais diferentes. Para exemplificar essa ideia, vamos propor uma situação hipotética. Imagine um trem (fig. 2) viajando a 240 000 km/s, cujos vagões têm 900 000 km de altura (sim, uma altura absurda, por isso experimentos desse tipo são conhecidos como *Gedanken Experiments* ou, numa tradução livre, "experimentos de pensamento").(Barreto & Xavier, 2016)



Fonte: Livro didático (Física aula por aula)

Figura 2. Representação da trajetória da luz observada pelo passageiro do trem.

Uma lâmpada que está no chão do vagão apontada para o teto, onde há um espelho, pisca e, no mesmo instante, um cronômetro é disparado. Um passageiro dentro do vagão observa a luz subir e descer na vertical. Assim, considerando que a velocidade da luz é de aproximadamente 300 000 km/s, o passageiro dentro do trem afirma que a luz da lâmpada leva 6 s para subir e descer. (Barreto & Xavier, 2010)

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v} = \frac{900.000+900.000}{300.000} = \frac{1.800.000}{300.000}; \quad \Delta S = 6s \quad (1)$$

No entanto, o que dizer de um observador externo que dispara seu cronômetro no mesmo instante em que a lâmpada pisca? Para ele, a luz descreve os lados de um triângulo isósceles, sendo sua base igual a distância percorrida pelo vagão. Pelo teorema de Pitágoras, aplicado no triângulo retângulo da figura, temos:

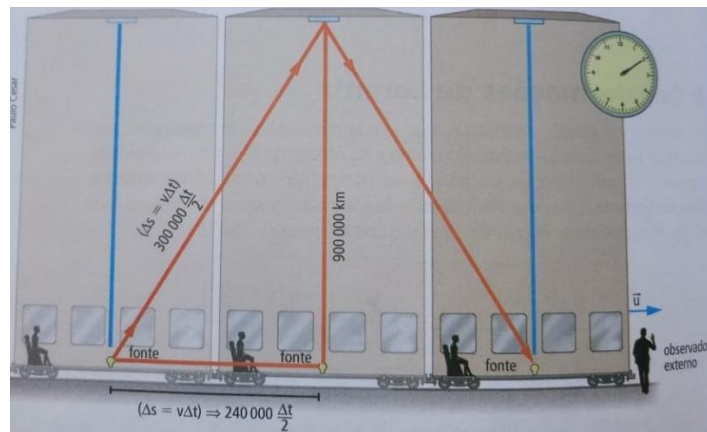
$$(1,5 \cdot 10^5 \Delta t)^2 = (1,2 \cdot 10^5 \Delta t)^2 + (9 \cdot 10^5)^2 \quad (2)$$

$$2,25 \Delta t^2 = 1,44 \Delta t^2 + 81 \quad (3)$$

$$0,81 \Delta t^2 = 81 \quad (4)$$

$$\Delta t^2 = 100 \quad (5)$$

$$\Delta t = 10s \quad (6)$$



Fonte: Livro didático (Física aula por aula)

Figura 3. Representação da trajetória da luz para ambos os observadores

Nessa situação, para o indivíduo fora do trem, a luz leva mais tempo para subir e descer, precisamente 10 s. Essa diferença ocorre porque, segundo os postulados da relatividade, não faz

sentido compor a velocidade da luz com a velocidade do trem. (Barreto & Xavier, 2016). O fato de a luz levar mais tempo para cada segundo do cronômetro que está em movimento indica que o tempo está dilatado. Assim, um intervalo de tempo no cronômetro do observador dentro do vagão do trem é mais demorado que um intervalo de tempo do observador externo. A dilatação do tempo pode ser expressa pela fórmula:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad \text{ou} \quad (7)$$

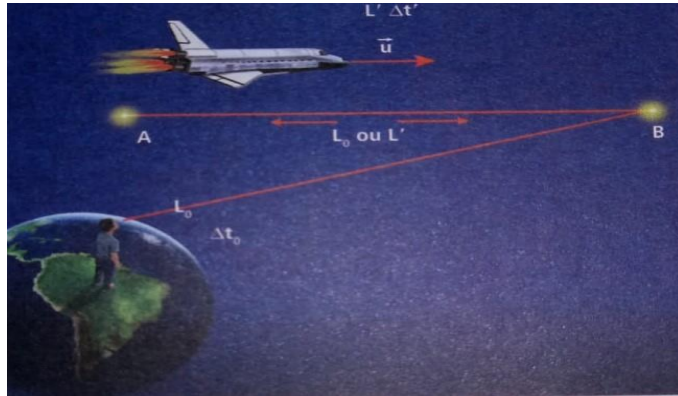
$$\Delta t' = \gamma \Delta t \quad (8)$$

No exemplo anterior,  $\Delta t'$  é o intervalo de tempo de subida e descida da luz ("evento") para o observador externo que observa o trem em movimento, e  $t$ , o intervalo de tempo do "mesmo evento", subida e descida da luz, mas para o observador no trem e, portanto, em repouso em relação ao trem e aos espelhos (HALLIDAY,1995). Podemos adotar as seguintes convenções para as grandezas:

- $\Delta t$  é o intervalo de tempo no referencial que observa o "evento" em movimento.
- $\Delta t'$  é o intervalo de tempo no referencial do evento, chamado de tempo próprio.
- $u$  é a velocidade de deslocamento do referencial móvel.
- $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

### 1.7. Contração do comprimento

Já observamos anteriormente que a dilatação do tempo consiste na mudança de intervalo de tempo entre dois eventos devido à diferença do referencial inercial em que cada um é medido. Estudaremos agora que a distância entre dois pontos também depende do referencial inercial onde se realiza a medição. Considere uma nave espacial (fig. 4) viajando com uma velocidade  $u$  próxima à da luz e deslocando-se entre duas estrelas, A e B. Considere também a existência de dois observadores, um em repouso na Terra, que consideraremos também em repouso em relação às duas estrelas, e outro dentro da nave espacial (em repouso em relação a ela). O evento considerado será a passagem da nave pela frente das duas estrelas. (Barreto & Xavier, 2010).



Fonte: Livro didático (Física aula por aula)

Figura 4. Representação de um observador na terra vendo uma nave deslocando se entre duas estrelas.

O observador da Terra mede a distância entre as duas estrelas, achando  $L_0$ . Essa é uma tarefa relativamente simples de realizar, já que as estrelas estão paradas em relação a ele. O observador também poderia obter a distância multiplicando a velocidade  $u$  da nave pelo tempo  $\Delta t'$  que ela gasta para fazer a viagem entre as estrelas:

$$L_0 = u\Delta t' \quad (1)$$

$$\Delta t' = \frac{L_0}{u} \quad (2)$$

E quanto ao observador dentro da nave espacial? Como medir a distância entre as estrelas? Uma alternativa seria utilizar o tempo que a nave demora para percorrer a distância entre as duas estrelas e depois multiplicar esse tempo pela velocidade da nave. Assim, ele percorreria uma distância  $L'$  dada por:

$$L' = u\Delta t_0 \quad (3)$$

$$\Delta t_0 = \frac{L'}{u} \quad (4)$$

Combinando as equações anteriores a partir da relação  $\Delta t' = \gamma\Delta t_0$ , temos:

$$\Delta t' = \gamma\Delta t_0 \quad (6)$$

$$\frac{L_0}{u} = \gamma \frac{L'}{u} \quad (7)$$

$$L' = \frac{L_0}{\gamma} \quad \text{ou} \quad L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \quad (8)$$

Na expressão:

$L'$  é o comprimento (distância) no referencial que observa o "evento" em movimento.  $L_0$  é o comprimento (distância) no referencial fixado no "evento", chamado de comprimento próprio. Nesse exemplo das naves, consideramos o "evento" como a passagem da nave pelas estrelas. Assim, o observador na Terra, que se encontra em repouso em relação a elas, registra o tempo  $\Delta t'$ . Por outro lado, o observador dentro da nave registra o tempo  $\Delta t$ , para seu movimento. (Barreto & Xavier, 2016)

O que significa o resultado encontrado? Em resumo, o observador que está em repouso em relação à nave espacial observa a estrela vir a seu encontro com uma velocidade  $u$ . Como ele faz a viagem após um intervalo de tempo menor que o intervalo considerado pelo observador na Terra, conclui que a distância entre essas duas estrelas é menor que a distância que o observador na Terra havia medido.

Ao final, é conveniente mencionar que, em textos de relatividade, a variável  $L_0$ , é chamada de comprimento próprio e representa determinado comprimento quando medido por um referencial em que um corpo está em repouso. Concluímos, assim, que o comprimento próprio é sempre maior que o comprimento medido por um referencial em que um corpo está em movimento. Esse efeito é denominado contração do comprimento. É importante salientar que a contração dos comprimentos só acontece na direção em que o movimento ocorre.

Vamos fazer uma última consideração sobre os resultados obtidos. Será que, nos casos em que é observada a contração do espaço, ela é de fato real? Existe uma alteração na estrutura dos materiais, nas moléculas que os compõem, ou trata-se de uma mera consequência da aparência visual de um objeto em movimento? Essa pergunta também não teve uma resposta imediata. A princípio, teóricos como Lorentz acreditavam que a contração era resultado da ação do éter sobre as forças moleculares, que deveriam ser alteradas pelo movimento. Einstein, ao contrário, acreditava que a contração se tratava de um mero efeito da aparência visual dos objetos em movimento relativo, que é a interpretação pregada, aceita e disseminada hoje pela Teoria da Relatividade. (Barreto & Xavier, 2010).

## **1.8. Massa e energia**

Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, quando várias partículas interagem em um sistema isolado, a quantidade de movimento total permanece constante. Para que esse princípio continue válido no caso das partículas cujas velocidades são comparáveis à

velocidade da luz, Einstein precisou, de certo modo, reinterpretar os conceitos de massa e energia. Ele mostrou em sua Teoria da Relatividade especial (mais especificamente no quarto dos artigos que mencionamos anteriormente) que a massa é equivalente à energia. (Barreto & Xavier, 2016).

A massa de uma partícula, quando observada de um sistema de referência inercial em relação ao qual ela está em repouso, é denominada massa de repouso  $m_0$ . Mas, de acordo com a interpretação dada por Einstein, quando um corpo se movimenta com uma velocidade  $u$  em relação a determinado sistema de referência inercial, sua massa  $m$ , denominada massa relativística, é definida por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad \text{ou} \quad m = \gamma m_0 \quad (1)$$

Assim, se considerarmos que a massa inercial é a medida da resistência que um corpo oferece a uma mudança em seu estado de movimento, isso pode ser considerado um aumento de sua massa inercial com a velocidade. Portanto, o aumento da massa de um corpo não significa o aumento em números de átomos ou partículas que constituem esse corpo, e sim o aumento de sua inércia. (HALLIDAY,1995)

Em teoria, um corpo maciço pode ser acelerado até muito próximo da velocidade da luz, que é considerada a velocidade-limite. Na verdade, hoje sabemos que as únicas partículas que se movem com velocidade igual a da luz são partículas com massa nula (os ftons). Em nossa vida diária, ainda não temos objetos que viajam a uma velocidade próxima à da luz. Um carro, um trem, um avião ou mesmo um foguete têm velocidade muito pequena se comparada a velocidade da luz, o que torna a relação  $\frac{u^2}{c^2}$  praticamente desprezível. Nessas situações, a massa desses objetos é praticamente igual à massa de repouso. (Barreto & Xavier, 2016).

Na Teoria da Relatividade especial, a relação massa-energia é expressa por:

$$E_0 = m_0 \cdot c^2 \quad (2)$$

em que  $E_0$ , representa a energia medida no referencial de repouso da massa  $m_0$ . Por essa relação pode-se concluir que, mesmo em repouso, para um determinado sistema de referência inercial, um corpo possui uma quantidade muito grande de energia, que é denominada energia de repouso do corpo. Nessa equação, em que a energia  $E_0$  é medida em joule (J),  $m_0$ , é medida em quilograma (kg) e  $c$  é medida em metro por segundo (m/s), pode-se constatar, por exemplo, que 1

g de massa de um corpo equivale a  $9 \cdot 10^{13}$  J de energia, que, por sua vez, é equivalente a  $2,5 \cdot 10^7$  kWh (considerando  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6$ ). (HALLIDAY,1995)

Supondo que uma residência consuma, em média, 500 kWh de energia por mês, isso quer dizer que 1 g de massa poderia abastecer essa casa por 50 000 meses ou aproximadamente 4166 anos (isso, claro, numa situação hipotética na qual tivéssemos um aproveitamento de 100% nas reações envolvidas). Sabendo desse potencial, o processo de conversão de massa em energia é utilizado nos reatores das usinas atômicas. A maioria dos físicos de partículas, entretanto, utiliza outra unidade em vez do joule, o chamado elétron-volt (eV), sendo sua relação igual a:  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  J. (HALLIDAY,1995).

## **2. CAPITULO 2 - A BNCC**

### **2.1. A BNCC do ensino médio**

De acordo com a BNCC o Ensino Médio é uma etapa importante do ensino básico, direito de todo cidadão. Entretanto, a educação do país tem exibido que essa etapa representa uma grande preocupação na garantia do direito à educação. Entre os motivos que salientam esse cenário, destacam-se o efeito negativo dos estudantes nos últimos anos do Ensino Fundamental, a organização curricular do Ensino Médio de hoje, com excesso de elementos curriculares, e um tratamento pedagógica antigo em relação as culturas juvenis e do mundo do atual.

Para além da necessidade de universalizar o atendimento, outros grandes desafios do Ensino Médio na atualidade são garantir a permanência e as aprendizagens dos estudantes, respondendo às suas aspirações presentes e futuras.

Como uma forma de contestar a essa obrigação, mostra-se importante analisar a dinâmica social moderna, marcada pelas rápidas transformações decorrentes do desenvolvimento tecnológico. Trata-se de perceber que as transformações no contexto mundial alcançam diretamente os estudantes jovens e, com isso, o que se demanda de sua formação para o enfrentamento de novos desafios sociais, econômicos, acelerados pelas alterações tecnológicas do mundo moderno (BNCC).

### **2.2. A área de ciências da natureza e suas tecnologias na BNCC**

No ensino médio, a área que engloba a ciência da natureza deve colaborar com a construção de uma estrutura de conhecimentos diversificados, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, elaborar propostas e apresentar questões alternativas, bem como fazer uso de diversas

tecnologias. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas do conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza (BNCC).

No Ensino Médio, a área deve, portanto, se comprometer, assim como as demais, com a formação dos jovens para o enfrentamento dos desafios da contemporaneidade, na direção da educação integral e da formação cidadã. Os estudantes, com maior vivência e maturidade, têm condições para aprofundar o exercício do pensamento crítico, realizar novas leituras do mundo, com base em modelos abstratos, e tomar decisões responsáveis, éticas e consistentes na identificação e solução de situações-problema.

Ao mesmo tempo, considerar a contemporaneidade demanda que a área esteja sintonizada às demandas e necessidades das múltiplas juventudes, reconhecendo sua diversidade de expressões. São sujeitos que constroem sua história com base em diferentes interesses e inserções na sociedade e que possuem modos próprios de pensar, agir, vestir-se e expressar seus anseios, medos e desejos.

- Competência específica 1
- Competência específica 2
- Competência específica 3

Essas três competências de modo geral querem dizer que o estudante precisa investigar fenômenos da natureza e procedimentos tecnológicos, precisa também edificar e utilizar análises sobre a dinâmica da vida da terra e do espaço, e por último analisar adversidades e analisar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no cotidiano.

## **3. CAPITULO 3 - METODOLOGIA**

### **3.1. Área de Estudo**

Na escola estadual Vilhena Alves, localizada na avenida Magalhães barata.

### **3.2. População**

O trabalho foi realizado com alunos do 3º ano do ensino médio.

### **3.3. Tipo de pesquisa**

A inserção do conteúdo ocorreu em 3 encontros previamente cedidos pelo professor sem atrapalhar o conteúdo da disciplina, cada um com 50min de duração, realizando um teste em cada encontro onde o primeiro é referente a Relatividade clássica de Galileu com o intuito de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos, o segundo para Relatividade restrita de Einstein e o terceiro encontro será reservado para uma discussão entre os dois assuntos. Os encontros foram divididos da seguinte forma:

1. Um encontro para relatividade clássica de Galileu com 50 min de duração;
2. Um encontro para relatividade restrita de Einstein com 50min de duração
3. Uma revisão dos assuntos.

A importância da aplicação de uma lista de exercícios sobre os assuntos antes e depois de introduzi-los para os alunos, serve para ter uma ideia de se houve ou não mudança nas respostas, após o término da abordagem do tema, lista esta que é de 10 questões. Para uma melhor aceitação dos conceitos que foram abordados, pois os mesmos são considerados difíceis por sua abstração somente com teoria, então foi utilizado vídeos ( A mágica do gps – professor Albert e O paradoxo dos gêmeos- Astro News) para que sintetizassem sobre o que foi abordado em sala de aula, exposição em Programa de computador para sistema operacional Windows, denominado “MICROSOFT OFFICE POWER POINT” com a versão de 2016 de imagens tanto dos experimentos e vídeos, aplicações quanto dos cientistas envolvidos, este com o objetivo de que os alunos tenham uma clara imagem sobre relatividade.

## 4. CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, foi mostrado como a Relatividade restrita, pode ser abordado a partir de uma base na relatividade de Galileu através de discussão em sala de aula. Mais ainda, que é viável que o jovem compreenda alguns conceitos básicos e os “traduza” numa linguagem de fácil compreensão.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5. Alunos do 3º ano.

A álgebra é um instrumento da física que deve ser compreendida em todos os níveis de ensino, no entanto uma parte dos alunos apresentam dificuldades no aprendizado da disciplina, problema esse já constatado pelo professor da turma. Por este motivo, as deduções podem ser consideradas complicadas e exaustivas, o que para um aluno do ensino médio pode ser aceitável, pois os mesmos não estão acostumados com deduções longas e que exijam atenção.



Fonte: Autoria própria

Figura 6. Alunos em aula.

Essa avaliação pode ser considerada para uma formulação do planejamento, para o qual poderão ser apresentados somente os conceitos, e com isso realizar uma análise que contemple aspectos com situações reais, como, a detecção de múons ao nível do mar, funcionamento do GPS. Para mais, não se pode deixar de mencionar que a abordagem com conceitos não é apenas uma mera simplificação das deduções, mas sim, tal abordagem irá priorizar a aplicação da teoria da relatividade em uma situação experimental e que fornece a explicação para um fenômeno da natureza.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7. Aplicação do conteúdo em sala de aula.

Os testes aplicados antes das aulas serviram para perceber o distanciamento dos alunos em relação ao conteúdo dado, entretanto o teste aplicado depois foi a porta de entrada para perceber e entender o uso de algumas tecnologias do cotidiano.

## 5. CONCLUSÃO

Comparando as respostas do pré-teste e do pós-teste, podemos dizer que houve um aumento significativo do conhecimento sobre a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, pois o número de alunos que passou a conhecê-la cresceu, e todos na turma passaram a conhecer as contribuições do Físico, mesmo alguns ainda não podendo citá-la.

Vimos também a capacidade do aluno de utilizar o lúdico, e junto com o professor chegar a conclusões coerentes após assistirem vídeos sobre o assunto. Pois, é importante para o aluno que está inserido em um ambiente digital conseguir perceber e separar o que é verdadeiro e o que não é, utilizando seu conhecimento científico.

Alguns alunos, afirmaram que os vídeos utilizados os ajudaram a compreender aqueles conceitos. Além disso, outros demonstraram grande interesse nos vídeos apresentados, perguntando onde eles foram encontrados, anotando o título dos vídeos ou salvando os links para vê-los posteriormente.

Com isso podemos perceber o grande potencial da física moderna no ensino médio, em particular a Relatividade restrita, que uma simples aula com apresentação em Power point com vídeos e imagens contribuíram para o ensino dos alunos, logo também pode contribuir no ensino de física do ensino médio nas escolas, sendo é claro bem planejada e executada com mais tempo e abordando os assuntos de forma completa.

A utilização destes recursos é de extrema importância pois traz conceitos cientificamente corretos de uma forma mais didática, o que torna a aprendizagem mais significativa e interessante para o aluno. Se desprendendo da abordagem de conteúdo na forma tradicional e apenas com formulações matemáticas. Podendo assim, cativar ao aluno visto que hoje o maior problema do professor em relação ao conteúdo é a falta de interesse do estudante para aprender o mesmo.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Maria José P. M., SOUZA, Suzani Cassiane de, SILVA, Henrique César da. Perguntas, respostas e comentários dos estudantes como estratégias na produção de sentidos em salas de aula. IN: NARDI, Roberto, ALMEIDA, Maria José P.M. (org). Analogias, leituras e modelos no ensino de ciências. São Paulo, Escrituras, 2006. 159 p. ISBN: 85-7531-216-2.
- AGUIAR, Orlando, MORTIMER, Eduardo. Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade discursiva em uma aula de ciências, *Investigações em Ensino de Ciências*, v.10, n.2. 2005.
- A mágica do gps – Professor Albert. [www.youtube.com/watch?v=OsYU0xPXsgA](http://www.youtube.com/watch?v=OsYU0xPXsgA).
- BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC) MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO; MINISTRO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO, Mendonça Filho; SECRETARIA EXECUTIVA, Maria Helena Guimarães de Castro; SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA, Rossieli Soares da Silva; CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO
- BRASIL. Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão; Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional de Educação; Câmara de Educação Básica. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília.
- CARDOSO, Mateus Ramos. O PAPEL DO PROFESSOR NA PÓS-MODERNIDADE. **Revista EDUC**, Duque de Caxias, v. 01, n. 03, p. 103-114, jan. 2015.
- COYNE, G. V.; HELLER, M.; ZYCINSKI, J. (Eds.). *Newton and the new direction in Science*. Vaticano: Specola Vaticana, 1988, p. 215-228.
- COLINVAUX, Dominique. Aprendizagem e construção/constituição de conhecimento: reflexões teórico-metodológicas. *Pro-posições*, v.18, n.3 (54), dez/2007.
- D. Delizoicov, J.A. Angotti e M.M. Pernambuco, *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos* (Cortez, São Paulo, 2007).
- EINSTEIN, A. *Relativity: the Special and General Theory* (a popular exposition). New York: Wings Book, 1961.
- F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* 5 (2000).
- F.F. Oliveira e D.M. Vianna, in *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas, MG (2004).

- Física aula por aula: Eletromagnetismo, física moderna, 3º ano/Benigno Barreto filho, Claudio Xavier da Silva, 3 ed, São Paulo, 2016.
- Física aula por aula: Eletromagnetismo, Ondulatória, física moderna, 3º ano/Benigno Barreto filho, Claudio Xavier da Silva, 3 ed, São Paulo, 2010
- GOULART, Cecília . Enunciar é argumentar: analisando um episódio de uma aula de história com base em Bakhtin. Pro-posições, v. 18, n.3 (54), set./dez. , 2007.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 4, Ótica e Física Moderna**. 4ª. Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 1995.
- J.Q.A. Brito e L.P. Sá, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias 9, 505 (2010).
- NEWTON, I. Optiks. London, 1704, Queries 28 and 31. Tradução: A.K.T. ASSIS. Óptica. Editora Edusp, 2002.
- O paradoxo dos gêmeos- Astro News [www.youtube.com/watch?v=GvSEaZFg138](http://www.youtube.com/watch?v=GvSEaZFg138).
- SOUZA, D.A. de Desenvolvimento da produção argumentativa: Um estudo de transformações na estrutura da argumentação de estudantes universitários em situação de “Debate Crítico”. Dissertação de Mestrado. Psicologia Cognitiva. Universidade Federal de Pernambuco. 2012.
- STACHEL, J. O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da Física. Tradução: Alexandre Carlos Tort. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001.