



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE EDUCAÇÃO – CEDU
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA – PPGECIM

GIULIANO RAPOSO RODRIGUES

**A IMPORTÂNCIA DA CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA NAS AULAS DAS
TEORIAS EINSTEINIANAS APLICADAS AO ENSINO MÉDIO**

MACEIÓ

2019

GIULIANO RAPOSO RODRIGUES

**A IMPORTÂNCIA DA CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA NAS AULAS DAS
TEORIAS EINSTEINIANAS APLICADAS AO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Alagoas, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

MACEIÓ

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

R696i Rodrigues, Giuliano Raposo.

A importância da contextualização histórica nas aulas das teorias einsteinianas aplicadas ao ensino médio / Giuliano Raposo Rodrigues. – 2019.

157 f. : il. color.

Orientador: Jenner Barretto Basto Filho.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 140-143.

Apêndices: f. 144-157.

1. Einstein, Albert, 1879-1955. 2. Física - História. 3. Física – Estudo e ensino. 4. Física - Ensino médio. 5. Relatividade geral (Física). 6. Fotoeletricidade. I. Título.

CDU: 372.853

Folha de aprovação

GIULIANO RAPOSO RODRIGUES

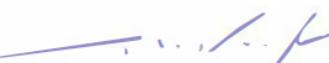
"A importância da contextualização histórica para as aulas sobre as Teorias Einsteinianas no Ensino Médio"

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática - Subárea de Concentração "Física", pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 01 de março de 2019.

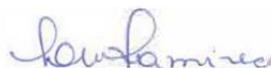
BANCA EXAMINADORA



rof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho - Orientador



Prof. Dr. Edel Alexandre Silva Pontes
(IFAL)



Profª. Dra. Lidia Ramires
(ICHCA/UFAL)



Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Serra
(IF/UFAL)

Esta dissertação é dedicada a minha mãe e ao meu pai (in memoriam), pela alegria, vibração, dignidade e muito amor com os quais nos criaram, a mim e meus irmãos. Dedico ainda este trabalho à memória da muito querida professora Anamelea Pinto, que nos deixou tão precocemente e que nos faz muita falta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, estiveram envolvidos com a construção desta dissertação. A destacar meus familiares, minha esposa Clarissa, pelo amor incondicional e pelo incentivo para que eu chegasse até o fim sem desistir.

Aos meus amados filhos Giulia e Filipe, pela paciência com a minha ausência e pelos momentos de muito amor que vivemos juntos.

Aos meus irmãos Ana, Christiano e Cláudia, pela admiração e torcida por mim.

Às minhas tias Jeanete e Seninha, por tudo que fizeram por mim, desde a época de minha infância até os dias de hoje.

Aos meus amigos de toda vida, Bel, Fred, Philipe, Pezão, Cacau, Miro, Deco, Jaqueline, Jussara, Taísa, Márcio Vaz, John, Pedro Ivens, Cezão, Tiago, Maiana, Priscila pelos muitos momentos de lazer e descontração.

À amiga e professora Lídia Ramires, pela ajuda, colaboração e apoio em todo o tempo.

Ao meu querido orientador, professor Jenner Bastos Filho, por ter me proporcionado momentos de reflexão e sabedoria.

Ao professor Adriano Malta do IFAL, pela importante ajuda em momentos embaraçosos.

Nosso tempo é rico em mentes inventivas, cujos inventos poderiam facilitar consideravelmente nossas vidas. Hoje cruzamos os mares usando a energia e a utilizamos também para poupar a humanidade de todo o trabalho muscular extenuante. Aprendemos a voar e somos capazes de enviar mensagens e notícias sem nenhuma dificuldade para o mundo inteiro através de ondas eletromagnéticas.

No entanto, a produção e distribuição de bens está inteiramente desorganizada, de tal modo que todos têm de viver no temor de ser eliminados do ciclo econômico e, com isso, ver-se privados de tudo. Mais ainda, pessoas que vivem em diferentes países matam umas às outras a intervalos irregulares de tempo, de tal modo que, também por essa razão, todo aquele que pensa no futuro está condenado a viver no medo e no terror.

Albert Einstein

RESUMO

Esta dissertação de mestrado do PPGEICIM (Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática) trata da importância da contextualização histórica nas aulas de Física, aplicadas aos alunos do Ensino Médio. De forma mais específica, serão ministradas aulas sobre as teorias einsteinianas, em especial a da Relatividade Restrita e a do Efeito Fotoelétrico à Luz da Teoria Quântica, com um vasto embasamento histórico que envolveu os bastidores da vida do maior físico da humanidade: Albert Einstein. São tratadas as multiplicidades de sua personalidade que vão desde a sua genialidade e pioneirismo, seu envolvimento social e político com o meio acadêmico, entidades governamentais e sociedade em geral, até a aspectos de sua vida pessoal. Através desta pesquisa, tentaremos compreender quais os estímulos criados nos nossos alunos e a contribuição para a apreensão dos conteúdos teóricos, quando submetidos aos recursos que trarão a trajetória histórica do desenvolvimento das teorias de Einstein e seus desdobramentos. Para finalizar, iremos propor um produto educacional que utilize tecnologia da informação, com a criação de um ambiente virtual no *Google Drive*, onde os alunos depositarão vídeos de curta duração e terão acesso ao conteúdo deste trabalho.

Palavras-chave: Ciência. História. Einstein. Relatividade. Efeito fotoelétrico.

ABSTRACT

This MSc dissertation of PPGEICIM (Programa de Pós Graduação em Ciências e Matemática) comes to defend and research the importance of historical contextualization in physics classes applied to high school students. More specifically, lectures will be given on Einstein's theories, in particular the Restricted Relativity and the photoelectric effect in light of the Quantum theory with a vast historical background that involved the backstage of the life of the greatest physicist of mankind: Albert Einstein. It will be treated the multiplicities of his personality that go from his genius and pioneering, to social and political involvement with the academic environment, governmental entities and society in general, to aspects of their personal lives. Through this research we will try to understand the stimuli created in our students and the contribution to the apprehension of the theoretical contents, when submitted to resources that will bring the historical trajectory of the development of Einstein's theories and their unfolding. Finally, we will propose an educational product that uses information technology by creating a virtual platform on Google Drive where students can use to post short duration videos and also have full access to this dissertation.

Keywords: Science. History. Einstein. Relativity. Photoelectric effect.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA NO ENSINO DE CIÊNCIA	12
2.1 A abordagem da evolução do pensamento científico no ensino de Física	12
2.2 Alfabetização científica	26
3 EINSTEIN - BASTIDORES DA VIDA DO MAIOR FÍSICO DO SÉCULO XX	38
3.1 Infância, adolescência, início da fase adulta e seus percalços	38
3.2 Relatividade, Quântica e seus desdobramentos	46
3.3 Relatividade Geral e o sucesso de Einstein	55
3.4 Concepções de Einstein sobre Ciência, Religião e Filosofia	65
3.5. Estados Unidos, a bomba atômica e as causas humanitárias	72
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO TRABALHO DE PESQUISA	84
4.1 Metodologia	84
4.2 Aula de Relatividade	88
4.3 Aula de Efeito Fotoelétrico	112
5 ANÁLISE DOS DADOS	126
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
REFERÊNCIAS	140
APÊNDICE A	144
APÊNDICE B	148

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho surgiu da necessidade de pesquisar como a abordagem das teorias da Física Moderna relacionadas a Einstein, mesclando conteúdo e contextualização histórica, **como forma de estimular** o aprendizado e a formação científica dos alunos do Ensino Médio.

Nesse sentido, pretendemos perfazer o caminho da construção das ideias de Einstein que deram solução às várias contradições surgidas entre os resultados de experimentos e as previsões da Física Clássica, causando impactos profundos nos rumos da Ciência. Além disso, pretendemos contextualizar a situação política e social em que se inseriu Einstein, durante sua fase produtiva, tanto na Europa como nos Estados Unidos da América, na intenção de promover uma humanização da tão “asséptica e frígida” Ciência, que é normalmente ensinada em nossas escolas. Pretendemos comprovar se essa contextualização histórica contribui para uma aula mais envolvente e para a formação de um cidadão mais crítico, mais humano e com uma formação científica melhor alicerçada.

Por ter sido o maior físico da história, e suas teorias trazidas no imaginário coletivo como complexas e profundas, acreditamos que esses aspectos despertam a curiosidade de uns e causam medo em outros. Posso me incluir entre estes curiosos, desde quando era aluno do Ensino Médio, pois já me impressionava não só com a genialidade de Einstein, mas também com suas reflexões sobre os mais diferentes aspectos das relações humanas, na categoria de uns dos grandes pensadores do século XX.

Ao longo de duas décadas, atuando como professor, todos os anos, diversos alunos perguntam se vou ministrar aulas sobre as teorias einsteinianas, visto que essas teorias não são abordadas na grade curricular regular do Ensino Médio. Esta foi uma das principais motivações que me impulsionou a mergulhar neste trabalho de pesquisa.

Para além das teorias de Einstein, faremos uma abordagem interdisciplinar. Dito de outra maneira, enfocaremos aspectos que marcaram a sua vida, tanto na infância, como na fase adulta; as primeiras indagações e os primeiros passos no estudo de Física; as suas relações pessoais e sociais, evidenciando a sua timidez e

as suas frustrações; o seu ativismo nos direitos humanos; a sua relação com a religião e sua incessante busca por uma teoria que jamais foi alcançada.

Pretendemos investigar também se o levantamento desse contexto histórico em que surgem as ideias miraculosas do maior físico da humanidade pode contribuir para apreensão, de forma mais específica, da Teoria da Relatividade Restrita e da explicação para o efeito fotoelétrico, que não exige um aparato matemático complexo; e de forma mais generalista da Teoria da Relatividade Geral, por exigir um conhecimento matemático que está muito acima da alçada de alunos do Ensino Médio.

Acreditamos que a abordagem histórica da Ciência, particularmente nas aulas de Física, é, antes de mais nada, um respeito à realidade dos fatos, tentando resgatar o sempre árduo caminho que os cientistas percorrem até alcançarem uma Lei, um princípio ou uma formulação matemática que descrevam mais fielmente possível a natureza dos fenômenos físicos. Os erros anteriores cometidos, a parceria com seus contemporâneos e a herança de seus antecessores são imprescindíveis para se chegar a um produto final.

Sob o nosso ponto de vista, ensinar Física sem essa contextualização histórica significa tratar com infidelidade a realidade de como os fatos ocorreram, dando ao aluno a falsa impressão de que as Leis da Física surgiram como um passe de mágica, sem nenhuma dose de inspiração e transpiração. Estar a par da evolução histórica da Ciência também evita os frequentes anacronismos que são cometidos pelos nossos alunos, além de mostrar a eterna busca por novas teorias que negam ou ampliam as anteriores, mas sem desmerecer o brilhantismo dos autores das teorias passadas que deram sua contribuição com dificuldades e limitações da época em que viveram, muitos indo contra ao tradicional, ao que se estava posto como algo imutável, como é o caso de Albert Einstein.

Tornar acessível aos alunos o conhecimento das dimensões que vão desde o Einstein físico, mas também do ser filosófico, pacifista, político e socialmente engajado, parece-nos contribuir para a incessante discussão sobre cidadania e ciências, seus limites e possibilidades. Segundo Levy-Leblond (2001 apud CACHAPUZ, 2012, p.18): “Para que a ciência sobreviva é preciso torná-la menos técnica e devolver-lhe uma vertente mais cultural e ética”.

Durante as aulas que serão ministradas sobre as teorias einsteinianas, utilizaremos alguns procedimentos metodológicos, como a exibição de um

documentário sobre a vida de Einstein, intitulado *Genius*, do Discovery Channel e fóruns de discussão com os alunos, onde faremos alguns debates sobre a origem dessas teorias, dando ênfase à contextualização histórica. Num desses debates, contaremos com a ilustre presença do nosso orientador, Jenner Bastos Filho, um dos maiores especialistas em Einstein do Brasil.

A pesquisa será realizada em dois locais diferentes: no Instituto Federal de Alagoas (IFAL) e numa escola particular de referência no nosso Estado, onde serão selecionados alunos em sua maioria do 2º ano do Ensino Médio, mas também alguns de 1º ano. Serão ministradas aulas sobre a Teoria da Relatividade Restrita e sobre o efeito fotoelétrico, com ampla abordagem histórica à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Os alunos envolvidos em nossa pesquisa serão submetidos às avaliações e questionários, para a coleta, tabulação e interpretação dos dados colhidos. Por fim, atendendo à exigência do Programa de Pós Graduação de Ensino de Ciência e Matemática (PPGECIM) apresentaremos um produto educacional, onde nossos alunos produzirão vídeos amadores de curta duração sobre Einstein, abordando aspectos históricos ou do conteúdo propriamente dito de suas teorias. Neste ambiente virtual nossos alunos também terão além do acesso às duas sessões desta dissertação, uma que faz um apanhado da vida de Albert Einstein sob os mais diferentes aspectos, e a outra que trata do conteúdo das aulas que serão ministradas sobre Relatividade Restrita e efeito fotoelétrico.

2. A CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA NO ENSINO DE CIÊNCIA

2.1. A abordagem da evolução do pensamento científico no ensino de Física

Os nossos alunos têm o direito de saber – e demonstram muita curiosidade – do processo histórico de como a Ciência enxergava o universo desde de Aristóteles até os dias de hoje. Ora, sem instrumentos de observação astronômica, apenas com uma contemplação visual, parece justo que Aristóteles imaginasse a Terra imóvel e como centro do Universo, que tudo girava em torno dela, inclusive o Sol, já que ‘nasce’ num lado e se ‘põe’ num ponto diametralmente oposto, parecendo dar meia volta em torno da Terra.

Para defender a ideia de que o nosso planeta não teria movimento de rotação ele dizia que se a Terra girasse ao jogarmos um objeto para cima, este não voltaria às nossas mãos, já que não estaríamos mais na mesma posição, pois giraríamos juntos com a Terra. Um raciocínio lógico e convincente à época e que mesmo nos dias de hoje seria capaz de confundir os mais leigos. Essas ideias estão contidas na Teoria Geocêntrica, que se perpetuou por pelo menos 2000 anos, sendo adotado por entidades que iam, desde as autoridades governamentais às Igrejas católicas e protestantes. Mesmo os árabes que viam do lado oriental do mundo e a partir do século VIII chegaram a dominar parte da Europa, também adotavam a tradição aristotélica e eram estudiosos da Astrologia, pois achavam que traria uma grande contribuição para a Astronomia.

No pensamento dos filósofos da Grécia antiga, ciência, filosofia e religião entrelaçavam-se e havia uma forte influência daqueles que os antecederam, como Sócrates e Platão que antecederam Aristóteles.

O relato da existência de um ser supremo está fortemente presente na filosofia grega, justificando a perfeição na natureza das coisas terrenas. Os astros como a Terra, a Lua e o Sol teriam inclusive formas e órbitas esféricas porque a esfera era considerada a forma mais perfeita.

Voltando à Aristóteles, esse filósofo acreditava que o cosmo poderia ser comparado a uma cebola, onde suas camadas seriam análogas às esferas concêntricas feitas de cristais ao longo das quais orbitariam os seguintes astros nessa ordem: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno e as estrelas que seriam fixas.

Outra característica da análise desse ilustre filósofo grego é a explícita distinção entre os elementos que compunham o nosso planeta e todas as coisas terrenas, tais quais terra, água, ar, fogo e suas combinações, e o elemento chamado éter ou quintessência de que seriam formados todos os astros circundantes. A imutabilidade dos céus sempre foi defendida pelos aristotélicos e que qualquer fenômeno que pudesse comprometer essa premissa, como o aparecimento de um algo que acontecia no espaço infralunar e que, portanto não fazia parte do imutável cosmos extra Terra. Apesar de terem sido contestadas ao longo do tempo, para mostrar a influência milenar das ideias aristotélicas, a palavra meteorologia vem de meteoro.

Difícilmente nossos alunos presenciam nas aulas de Física essa abordagem transcendental do Cosmos, dado que já são iniciados no estudo da Cosmologia pelas Leis de Kepler e pela Teoria da Gravitação Universal de Newton, que já adotavam a Teoria Heliocêntrica que coloca o Sol como centro do universo, com todos os astros orbitando em torno dessa estrela. Muitas vezes, disciplinas como filosofia, sociologia e história abordam esse embate entre as duas teorias e a transição do geocentrismo para o heliocentrismo, sem que essa discussão esteja presente nas aulas de Física. É claro que por envolver aspectos sociais, religiosos e filosóficos essa abordagem torna-se interdisciplinar e não pode estar fora das aulas de ciências humanas. Dessa maneira, os professores de Física não podem se furtar de retratarem assuntos relevantes para a evolução histórica do pensamento científico. Professores de ciências da natureza em geral descrevem uma ciência isenta dos expressivos contextos políticos e relações de poder que perpassam a evolução do pensamento científico.

Resguardando o respeito à fé cristã de um país predominantemente católico, nossos professores não podem se eximir de fazer chegar ao conhecimento dos alunos, a ação violenta, repressiva e intimidadora da Igreja Católica na Idade Média, que foi a grande responsável por trazer um longo hiato histórico no processo de evolução da Ciência, uma época extremamente pobre para o desenvolvimento do pensamento científico, em que pensar e questionar os fenômenos da natureza eram considerados atos de heresia e desobediência.

Naquela época, toda a intelectualidade tinha que estar voltada aos estudos teológicos, onde os textos bíblicos suplantaram a herança deixada pelos escritos greco-romanos que praticamente desapareceram. Somente com a ocupação árabe

ressurge o pensamento dos principais filósofos gregos com textos traduzidos do árabe e do grego para o latim, onde a igreja passa a adotar o geocentrismo de Aristóteles até meados do século XV, período da Renascença, quando surgem os primeiros homens que irão se opor a essa teoria e que serão duramente perseguidos pela cúpula da igreja.

O primeiro deles foi o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) ao questionar os aristotélicos; um dos pais do heliocentrismo europeu, tirando da Terra o status de centro do universo e transferindo-o para o Sol. Mas ao contrário do que se pode pensar, Copérnico não foi nenhum herói contestador da nobreza e do clero que adotavam a filosofia de Aristóteles, pelo contrário, tinha medo de se contrapor à poderosa Igreja Católica, tanto é que sua obra intitulada *Sobre as revoluções das esferas celestes* só foi publicada no ano de sua morte, em 1543.

Segundo o que relata o físico e astrônomo Marcelo Gleiser em seu livro *Poeira das estrelas* (2006), já com problemas de saúde, Copérnico entrega o manuscrito de sua obra para seu pupilo Rethicus, que fica com a missão de levar para Nuremberg, onde seria impresso. Mas por alguma razão, esse manuscrito caiu nas mãos de Andreas Osiander, um teólogo luterano, que assim como a corrente católica, era radicalmente contra a contestação do geocentrismo de Aristóteles.

O relevante de tudo isso, e que tem repercussões epistemológicas importantes, é o fato do prefácio de Osiander ser considerado como uma peça que apresenta o famoso **De Revolutionibus** de Copérnico no contexto de um mero instrumentalismo, ou seja, apenas como algo construído para “salvar os fenômenos”. Nesse contexto, segundo Osiander, Copérnico, enquanto astrônomo que exerce o mister próprio do astrônomo, apresentaria um heliocentrismo apenas e simplesmente enquanto um mero instrumento de cálculo para descrever os fenômenos e sem que isso representasse qualquer contrapartida ontológica com a realidade.

Convém lembrar que a inserção do Prefácio de Osiander ao **De Revolutionibus** de Copérnico parece ter sido, muito provavelmente, um contrabando do pastor luterano pois Copérnico, tanto quanto se sabe, não autorizou a inserção desse Prefácio no seu seminal livro. Além disso, apesar do receio de Copérnico frente às Instituições constituídas, notadamente a da Igreja Católica, nada leva a crer que a adoção filosófica de Copérnico tenha sido meramente instrumental.

Uma tradução em língua inglesa do **De Revolutionibus** consta no volume 16 da famosa coleção *Great Books of the Western World*, (ver Ptolemy; Copernicus; Kepler) volume esse no qual estão publicadas obras escolhidas de Ptolomeu, Copérnico e Kepler. Nesse volume a obra de Copérnico que aparece é o **De Revolutionibus**. Na *Introdução à Tradução (Translator's Introduction)* desta edição em língua inglesa encontramos o seguinte comentário:

Osiander's unauthorized preface to *De revolutionibus* tries to reduce the mobility of the earth to a point of mere convenience in constructing tables of movements (PTOLOMY; COPERNICUS; KEPLER, Vol. 16, Great Books, p. 483, 1978 22ª impressão)

Na tradução feita por nós do excerto acima:

O prefácio não autorizado de Osiander tenta reduzir a mobilidade da terra a uma mera conveniência (mera ficção) ao construir tabelas dos movimentos.

Aqui, vale a pena estudar o excerto do Prefácio de Andreas Osiander exatamente na parte em que ele apresenta essa filosofia instrumentalista. Deixemo-lo falar:

“[...] é próprio do astrônomo compor a história dos movimentos celestes, servindo-se de observação diligente mas engenhosa e, se não puder de modo nenhum descobrir as suas leis ou hipóteses verdadeiras, conceber ou imaginar quaisquer outras a partir das quais, segundo os princípios da geometria, esses movimentos se possam calcular com exatidão, tanto em relação ao futuro quanto ao passado” (OSIANDER, In: COPÉRNICO, 1984 [Originalmente publicado em 1984]).

Ver também os ricos e eruditos comentários de Luiz Albuquerque que constituem a Introdução à primeira edição em língua portuguesa publicado em 1984 do **De Revolutionibus**, originalmente publicado em 1543.

No desejo de contextualizar o episódio da publicação do famoso livro de Copérnico, já que é da necessidade de se contextualizar feitos da História da Ciência em situações de Ensino que esta dissertação trata como uma de suas prioridades, diríamos que alguns anos antes da publicação do seminal livro de Copérnico, foi publicado um texto curto intitulado **Commentariolus** (ver COPÉRNICO, 1990) o qual, segundo se estima, saiu por volta de 1510, ou seja, 33 anos antes da publicação do **De Revolutionibus**. Este pequeno opúsculo foi um

balão de ensaio que preparou as ideias que seriam defendidas no famoso livro de algumas poucas décadas depois.

É de grande interesse para os propósitos do presente trabalho que na edição portuguesa intitulada **As Revoluções dos Orbes Celestes** de Copérnico há uma bela saudação de lavra de Nicolau de Schönberg, Cardeal de Cápua, cujo teor é muito diferente daquele expresso pelo instrumentalismo de Osiander. Em uma carta escrita em Roma no dia 1^o de novembro de 1536, antes portanto da publicação do **De Revolutionibus** de 1543, e em simpática saudação a Nicolau Copérnico, Nicolau de Schönberg assim se expressa:

Ao ter-me chegado ao conhecimento, há anos atrás, em conversas com toda a gente, que o confirmava, algo acerca do teu talento, comecei então a ter maior consideração por ti e também a felicitar os nossos sábios, entre os quais floresces com tanto prestígio. É que eu tivera conhecimento de que és não só particularmente versado nas descobertas dos antigos matemáticos mas até formulaste uma nova Cosmologia em que ensinas que a Terra se move; que o Sol ocupa o ponto mais inferior e, por isso, mais central do Universo; que o oitavo céu permanece eternamente imóvel e fixo; que a Lua, juntamente com os elementos compreendidos dentro da sua esfera, situada entre o céu de Marte e o de Vênus, gira em volta do Sol num percurso anual. E soube também que tinham sido elaborados por ti uns Comentários acerca de todo este sistema astronômico e descobristas por meio de cálculos com a maior admiração de todos, os movimentos dos planetas para reunires em Tabelas (SCHÖNBERG. In: COPÉRNICO, 1984, p. [3])

Uma das posturas importantes para os professores que se propõem a trabalhar suas aulas de Física com uma contextualização histórica é procurar consultar pesquisas de historiadores especializados nos cientistas envolvidos nos assuntos que estão sendo abordados. Faz-se importante o aluno compreender que o fato do modelo geocêntrico ter sido descartado há muito tempo não diminui a importância histórica de um dos maiores filósofos da história da humanidade (Aristóteles). Deve sim entender que desde os primórdios o homem tenta desvendar os mistérios do universo e que esse processo está em evolução até os dias atuais.

Somente no século XVII, uma das mudanças mais importantes no rumo da ciência ocidental, ocorre com o surgimento de dois dos maiores cientistas da história da Ciência, o italiano Galileu Galilei e o alemão Johannes Kepler, desbravadores de uma Ciência que, em certo sentido, inauguravam um novo patamar de racionalidade matemática para a Filosofia Natural. Kepler desmascarou Osiander e mostrou a importância devida à obra de Copérnico, expondo-se ao defender as ideias

copernicanas. Utilizava-se de uma racionalidade, mas ainda no campo religioso, pois colocava o Sol como a provável morada de Deus por julgá-lo mais importante do que a Terra, a fonte da luz que iluminava o cosmos e do calor para tornar possível a vida no nosso planeta. Esse ilustre jovem alemão converteu as órbitas circulares dos planetas em torno do Sol, defendidas por Copérnico, em órbitas elípticas e já sinalizava para uma interação da nossa estrela com os planetas, que os obrigavam a orbitá-la através de forças magnéticas, como se o Sol fosse um grande ímã.

Numa aula em que se levante o contexto histórico para ensinar as famosas Leis de Kepler, é importante citar um personagem que, mesmo de forma um tanto controversa, abriu caminho para Kepler aprofundar seus estudos. Segundo o que relata Gleiser (2006), o nobre dinamarquês Tycho Brahe, considerado o maior astrônomo da época, dono de um castelo próximo à Praga que abrigava modernos instrumentos de observação astronômica, convidou o jovem cientista alemão para trabalhar com ele em seu castelo. Donos de personalidades opostas e origens bem distintas, Kepler e Brahe tiveram uma relação bastante conturbada.

Enquanto o alemão tinha uma origem humilde, vindo de uma família com muitos problemas, o dinamarquês viveu e cresceu como um príncipe em seu castelo. Num tempo em que já havia acontecido a reforma luterana e a Europa estava em polvorosa com os conflitos entre luteranos e católicos, Kepler por ser luterano foi expulso da cidade onde trabalhava na Áustria pelos líderes católicos.

Com seus instrumentos de alta precisão Tycho conseguiu coletar dados astronômicos valiosos; mas apesar desses dados divergirem do sistema aristotélico, a sua forte influência religiosa não lhe permitia aceitar as ideias copernicanas de que Kepler era adepto, tendo inclusive proposto um modelo híbrido, em que a Terra continuava no centro, com o Sol girando ao seu redor e os planetas girando em torno do Sol.

A influência da religião ainda era muito forte naquela época, mesmo com o surgimento de novos instrumentos de observação astronômica que deflagravam movimentos de astros como cometas muito mais distantes do que a Lua, o que desmistificava o cosmo imutável para além do nosso satélite natural defendido por Aristóteles e adotado pelos cristãos. Dos personagens dessas observações, praticamente os únicos que não ficaram retidos pela leitura da bíblia - que não fazia menção a um provável movimento da Terra - eram Kepler e Galileu.

Inspirado no que houvera ouvido do Cardeal Cesare Baronio (1538-1608) Galileu Galilei (1564-1642) assim se expressou em famosa carta escrita em 1615 a Cristina de Lorena:

Eu direi aqui o que ouvi de uma pessoa eclesiástica constituída em grau eminentíssimo, isto é que a intenção do Espírito Santo é ensinar-nos como se vai para o céu e não como vai o céu (GALILEI, Carta a Cristina de Lorena, p. 52)

Por questão de completeza e por amor ao estudo, lançar mão de um mergulho diretamente na fonte constitui-se em enriquecimento da presente narrativa. Nesta diretriz, tragamos pois a lume a citação correspondente em língua italiana:

Io qui direi quello che intesi da persona ecclesiastica costituita in eminentissimo grado, cioè l'intenzione del Spirito Santo essere d'insegnarci come se vadia ao cielo, e non come vadia il Cielo. (Lettera a Cristina di Lorena, p. 22)

Na famosa carta a Cristina de Lorena, o argumento central de Galileu é que a Bíblia diz a verdade, mas não é um tratado de astronomia. Em várias de suas passagens, a Bíblia lança mão de uma linguagem figurada para que o vulgo a possa compreender. Por outro lado, também os dados astronômicos estão de acordo com a realidade. Como duas verdades não podem se contradizer, então a conciliação de disso tudo é que a Bíblia nos ensina como se vai ao céu transcendental que se constitui naquele para o qual os cristãos vão após a morte, enquanto a astronomia trata do céu concreto, objeto da astronomia, o qual se constitui em algo bem diferente do Céu de que trata a Bíblia.

A fim de exemplificar como se situa a linguagem da qual a Bíblia lança mão com o fito de se tornar compreensível para as mentes rudes e vulgares, Galileu argumenta que há passagens nas Sagradas Escrituras em que se fala na **Ira de Deus**. No entanto, algo como a **Ira Divina** constitui-se meramente em linguagem figurativa e metafórica pois sendo Deus um ser Perfeitíssimo, então Ele não poderia sentir Ira, pois a ira é um defeito, e deste modo seria uma contradição atribuir qualquer defeito a um ser Perfeitíssimo.

Sobre o argumento, é enriquecedor citar o próprio Galileu diretamente da fonte. Na tradução em língua portuguesa que temos em mãos, aduzimos a seguinte bela e importante passagem:

Sobre este argumento parece-me que se deve considerar em primeiro lugar que se diz com grande santidade e se sustenta com grande sabedoria que a Sagrada Escritura não pode nunca mentir, sempre que se tenha penetrado o seu verdadeiro sentido. Ora, não creio que se possa negar que este muitas vezes é escondido e muito diverso daquilo como soa o puro significado das palavras. Do que se segue que, toda vez que alguém, ao expô-la, ater-se sempre ao som literal nu, poderia, errando este alguém, fazer parecer nas Escrituras não só contradições e proposições afastadas da verdade, mas graves heresias e mesmo blasfêmias. Posto que seria necessário dar a Deus pés, mãos, olhos não menos que afecções corporais e humanas tais como de ira, de arrependimento, de ódio e até certa vez o esquecimento das coisas passadas e a ignorância das futuras (GALILEI, 1988, p. 48)

Por questão de completeza, seja pois o excerto correspondente em língua italiana:

Sopra questa ragione parmi primieramente da considerare, essere e santissimamente detto e prudentissimamente stabilito, non poter mai la Sacra Scrittura mentire, tutta volta che si sia penetrato il suo vero sentimento; il qual non credo che si possa negare esser molte volte recondito e molto diverso da quello che suona il puro significato delle parole. Dal che ne séguita, che qualunque volta alcuno, nell"esporla, volesse fermarci sempre nel nudo suono literale, potrebbe, errando esso, far apparire nelle Scritture non solo contradizioni e proposizioni remote del vero, ma gravi eresie e bestemie ancora: poi che sarebbe necessario dare a Iddio e piede e mani ed occhi, e non meno affetti corporali e umani, come d'ira, di pentimento, d'odio, ed anco tal volta la dimenticanza delle cose passate e l'ignoranza dele future; [...] (GALILEI, 1993, p. 17-18)

Mais do que Kepler, Galileu foi duramente perseguido pelas autoridades eclesiásticas da Igreja Católica, por contestar veementemente o sistema aristotélico, tanto em relação a fenômenos físicos ocorridos na superfície terrena como nos céus. Ficou famoso ao provar, entre outras coisas, que todos os corpos caem em queda livre com a mesma aceleração da gravidade, independentemente de suas massas, contrariando as previsões aristotélicas que considerava a massa do corpo como elemento essencial para definir como este cairia. Galileu conseguia ser convincente naquilo que defendia pois produzia cuidadosamente experimentos cujos resultados comprovavam sua tese, sendo inclusive considerado um dos criadores do "método científico".

Ainda segundo o que relata Gleiser (2006), Galileu viveu numa das épocas mais sanguinárias da Inquisição da Igreja Católica, no movimento chamado Contrarreforma que visava combater as reformas protestantes calvinistas e luteranas e todos aqueles que se insurgiam contra a igreja defendendo ideias profanas como as do físico italiano. Em 1600, o monge beneditino e filósofo italiano Giordano Bruno

foi queimado em praça pública, para servir de exemplo, numa demonstração de força repressiva e autoridade da igreja. As alegações dos clérigos eram de que Bruno disseminava as ideias copernicanas além de questionar certas doutrinas eclesiásticas.

Construindo telescópios de grande alcance, Galileu destacou-se no campo da Astronomia, combatendo mais uma vez o sistema aristotélico ao defender que a Terra era redonda, movia-se e girava em torno do Sol. Com seu potente telescópio, conseguiu visualizar muito mais estrelas do que aquelas que eram vistas a olho nu, descobriu quatro luas de Júpiter e as imperfeições da Lua, com suas enormes crateras e vales, desmitificando a Lua perfeita e etérea de Aristóteles. Contudo, é importante frisar que Galileu era um homem muito religioso e achava que tinha a dura missão de redefinir os dogmas da igreja no tocante à visão do cosmo.

Chegou a elaborar uma carta, conhecida como “Carta a Cristina” que contestava os textos bíblicos e afirmava que os teólogos adotavam sistemas antigos que não condiziam com as descobertas astronômicas, assuntos dos quais eles não tinham conhecimento. Sentindo-se absolutamente afrontada, a cúpula da igreja, na figura do cardeal Bellarmino ameaçou o italiano a retratar-se e abandonar as ideias copernicanas, sob pena de ser preso. Ficou alguns anos recuado, mas continuava desenvolvendo seus estudos e experimentos, passando a estudar sobre as marés e concluindo equivocadamente que a mudança da maré era uma prova do movimento de rotação e de translação da Terra. Ironicamente com uma justificativa errada estava defendendo uma tese correta, curiosidade que de tempos em tempos iria se repetir na história da Ciência.

Aproveitando-se da chegada de um novo papa, seu amigo cardeal Marfeo Barberini que se tornou o papa Urbano VIII, conseguiu a autorização da Igreja para lançar um livro que tratasse da comparação dos modelos geocêntricos e heliocêntricos, chamado *Diálogos sobre os dois sistemas de mundo*.

O Papa Urbano VIII que antes de ser Papa era o Cardeal Maffeo Barberini (1568-1644), e que foi tornado Papa a partir de 1623, teria dado o seguinte conselho a Galileu: o de expor o seu famoso livro *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo, o ptolomaico e o copernicano* apenas lançando mão de considerações tais em que os dois sistemas seriam concebidos meramente enquanto hipóteses matemáticas, evitando assim defender um sistema em detrimento do outro e deste

modo também evitando problemas com as autoridades eclesiásticas no tocante a eventuais contradições com as Sagradas Escrituras, principalmente se fosse perdida a neutralidade e Galileu viesse a fazer apologia do sistema copernicano em detrimento do sistema ptolomaico (Ver, a propósito, GALILEI, 2004; originalmente publicado em 1632).

No entanto, não foi isso o que Galileu fez. Galileu seguiu o amigo Papa apenas quanto ao título da obra. Quanto à parte mais relevante da recomendação do Papa, ele escutou o que o então amigo Papa lhe houvera dito, mas, evidentemente, não observou o conselho de Sua Santidade para que agisse com neutralidade. Galileu, por meio de seu personagem Salviati defende bem mais o sistema de Copérnico e ironiza o personagem Simplicio que rivaliza com o personagem Salviati. Como tem um terceiro interlocutor, chamado Sagredo, que se convence muito mais com os argumentos de Salviati que dos argumentos de Simplicio, então termina sendo algo como dois contra um.

Alguns jesuítas influentes que não gostavam de Galileu, pois estavam ressentidos com o mestre florentino pelo fato de Galileu tê-los ironizado em controvérsias em instâncias pregressas, teriam então agido maldosamente.

Galileu foi chantageado pelos jesuítas que acusaram Galileu junto ao Papa Urbano VIII de ter sido muito parcial a favor de Copérnico em detrimento de Ptolomeu e ainda mais, e talvez principalmente, de ter ridicularizado o próprio Papa atribuindo ao personagem Simplicio de maneira irônica e sarcástica como sendo a própria personificação de Sua Santidade, o que teria aborrecido sobremaneira o Papa Urbano VIII. (Ver BALDOW, 2014; BALDOW, 2015; BALDOW et al, 2014a; BALDOW et al, 2014b; BALDOW et al, 2016) .

Isso não significa que os teólogos da Igreja estavam admitindo que o sistema geocêntrico estava errado, o que seria desmoralizante para a instituição. Pelo contrário, exigiu que na discussão do livro fosse dada uma conotação verdadeira para a Terra colocada imóvel no centro do universo por intervenções divinas.

Entretanto, o livro trouxe justamente uma conotação oposta. Galileu criou três personagens fictícias que travariam uma discussão filosófica. Um deles, Salviati, defendia as ideias copernicanas, que obviamente eram as mesmas de Galileu, o outro, Sagredo, era um leigo que acompanhava a discussão, que supostamente representaria o público, e o último, Simplicio que defendia as ideias aristotélicas. Mas, ao contrário do que esperavam os integrantes da Igreja, nas discussões

Salviati sempre tinha a razão, em detrimento de Simplício, que sempre era humilhado sarcasticamente.

Depois de impressos e distribuídos, a Santa Inquisição mandou confiscar os livros, mas alguns já haviam saído da Itália. Três anos depois Galileu foi condenado a se retratar em praça pública e admitir que o sistema copernicano estava errado, sob a ameaça de ser torturado caso negasse a fazê-lo.

No Ensino Médio o estudo da Física dos astros – que muitas vezes nem é nominada como Astronomia – fica restrito às contribuições de Kepler, nas suas três Leis, e de Newton – físico que citaremos em seguida – ficando de fora as importantes descobertas de Galileu, inclusive os bastidores políticos e religiosos em que esteve envolvido.

Na geração seguinte, no mesmo ano em que morre Galileu (1642), nasce o que muitos consideram, junto a Albert Einstein, o maior físico da humanidade, o inglês Isaac Newton. Segundo relatos de Gleiser (2006), como muitos cientistas de especial talento, era uma figura excêntrica, passava boa parte do tempo isolado em Cambridge, fruto provavelmente de uma infância difícil, onde além de ser órfão de pai, foi abandonado pela mãe e criado com a avó. Suas principais fontes de leituras foram as obras de Descartes, Galileu e Kepler.

Pode-se dizer que Newton foi um unificador da Física, pois criou uma nova Ciência que unificava a Física Terrena de Galileu com a Física Celeste de Kepler com Princípios e Leis que eram capazes de reger tanto um movimento de queda de um corpo como o movimento de planetas orbitando o Sol (Ver BASTOS FILHO, 1995; 2018). Além de físico, foi um grande matemático, pois para desenvolver seu mais importante trabalho, o livro *Princípios matemáticos da filosofia natural*, revolucionou a matemática, deixando uma herança largamente utilizada até os dias de hoje, o chamado cálculo diferencial e integral. Considerado um dos livros científicos mais importantes da história, Newton apresentou suas três famosas Leis (Inércia, Lei fundamental da dinâmica e ação e reação) onde conseguiu mudar a forma de como pensar sobre o movimento dos corpos, apesar de fugir do inconsciente coletivo dos leigos em geral, ao questionar a manutenção de um movimento pela atuação obrigatória de uma força, defendido desde Aristóteles.

Segundo Newton, a força só seria necessária para alterar a velocidade de um corpo e não para mantê-la constante. Chamando de força resultante o somatório das forças que agem em um corpo, é intuitivo que essa resultante é nula para manter um

corpo parado, mas não o parece ser para mantê-lo em movimento retilíneo uniforme. Alguém poderia questionar que se estivesse empurrando um bloco sobre uma superfície horizontal, mantendo sua velocidade constante, esse movimento só aconteceria por causa da força do empurrão.

Porém, a força resultante sobre o bloco é nula, pois a força que a pessoa está aplicando anula-se com o atrito do bloco com o solo, justificando assim o movimento com velocidade constante. Se a pessoa deixar de empurrar o bloco ele freará, ou seja, alterará a velocidade até chegar ao repouso, pois a força resultante será a própria força de atrito justificando a diminuição da velocidade. Parece mais lógico pensar que ao deixar de empurrar o bloco ele começou a frear pela ausência de força, contrariando as Leis de Newton. Mas a compreensão dos fenômenos físicos está longe de seguir meras intuições e lógicas rasteiras.

Se existisse uma superfície perfeitamente lisa, de forma que o atrito pudesse ser nulo, ao deixar de empurrar o corpo ele permaneceria em movimento retilíneo uniforme indefinidamente. Para ilustrar a fantástica conclusão de Newton, na década de 1970 foi lançada uma sonda espacial chamada *Voyager*, que está até hoje viajando pelo espaço sideral e que já saiu do nosso sistema solar. Pela distância em que se encontra do Sol ou de qualquer planeta, não existe nenhuma força de atração gravitacional, ou força de qualquer espécie. Ou seja, a força resultante sobre a sonda é nula e ela viaja em linha reta com uma velocidade constante de 18.000 km/h.

No intuito de unificar a Física, Newton cria a Teoria da Gravitação Universal que de forma absolutamente inédita introduz a ideia de uma força de atração gravitacional para justificar as órbitas dos planetas em torno do Sol. Na verdade essa ideia da atração gravitacional generalizava-se a quaisquer astros girando em torno de outro, desenhando a dinâmica do universo. A grande sacada de Isaac foi perceber que a mesma natureza da força que faz um objeto cair em queda livre é a que faz a Terra orbitar em torno do Sol, fundindo a Física que tratava dos fenômenos terrenos, com a Física que tratava dos fenômenos celestes. Além disso descreveu matematicamente essa força que teria sua intensidade diminuindo com o quadrado da distância, justificando as órbitas elípticas de Kepler. A compilação das teorias de seus antecessores Galileu e Kepler e a introdução da força gravitacional para unificar a Física fez de Newton um dos maiores físicos da humanidade e marcou um novo tempo para a Ciência, a era do determinismo, da racionalidade, da

matematização dos fenômenos observados e comprovados experimentalmente. A visão de que conhecendo a posição das partículas e as forças agentes sobre as mesmas teríamos como determinar os próximos fatos os próximos 'passos' dessa partícula, ou seja, prever o seu futuro. Segundo Gleiser (2006, p. 99-101):

[...] Os cientistas podiam prever desde a posição dos planetas e cometas até o comportamento de animais e pessoas. Nesse cosmo-relógio, não haveria livre arbítrio, as pessoas não poderiam escolher seu destino. Do movimento da Lua às sinfonias de Mozart, tudo seria consequência das partículas e suas interações. O papel de Deus fica cada vez menor, relegado à criação do cosmo e suas leis, como um relojoeiro que constrói relógios segundo certas regras e deixa-os marcar as horas sem nenhuma interferência posterior.

Além de ser o pai da mecânica, Newton ainda se notabilizaria em alquimia e óptica, descrevendo a luz como partícula, criando a chamada Teoria Corpuscular da Luz, que foi posteriormente combatida pela Teoria Ondulatória da Luz de Christiaan Huygens e pelo Eletromagnetismo de Maxwell, culminando com a dualidade onda-partícula de Einstein no início do século XX.

Nesse mesmo período, mais de três séculos depois da mecânica newtoniana, a relatividade flagrou ainda mais as falhas de sua teoria, restringindo sua veracidade para objetos com grande número de átomos e com velocidades muito inferiores às da luz.

Os novos rumos que a Ciência tomava com Newton tiveram uma clara influência na filosofia iluminista, creditando ainda à divindade o ato da criação de todas as coisas e do universo perfeito. Porém, esse Deus único começava a se destituir da condução da vida humana e do curso natural das coisas que agora podiam ser previstas pela racionalidade humana que teria que desvendar a arquitetura divina da criação.

A teoria científica que fosse comprovada experimentalmente ganhava um *status* de verdade absoluta, irrepreensível, uma visão mecanicista que nascera com Descartes¹ – filósofo a quem Newton dedicou muitas leituras – e se fortaleceu com o físico inglês, perpetuando-se até Einstein, no início do século XX.

A história da evolução do pensamento ao longo dos séculos tem uma essencial narrativa filosófica, mas não pode estar ausente das aulas de Física, química e biologia e presentes apenas nas aulas de sociologia, filosofia e história.

1 Descartes (1596-1650) foi um filósofo e matemático francês.

Todas essas disciplinas devem estar envolvidas de forma integrada na formação de um aluno crítico, politizado e consciente do seu papel de cidadão em nossa sociedade.

Nos dias atuais em nosso país, vivemos uma conturbada crise política, que tem polarizado ideologicamente a sociedade, onde as pessoas têm procurado posicionar-se de um lado ou de outro, com bons ou frágeis argumentos.

Uma época muito propícia para a discussão sobre o papel da escola na nossa sociedade. Insistimos em dizer que a contextualização histórico-crítica deve estar presente nas aulas de Ciências como uma forma de contribuição para que formemos alunos menos vulneráveis à manipulação social. Esta manipulação vem de todos os lados, desde a grande mídia que sempre esteve do lado dos poderosos em detrimento de uma maioria massacrada e esquecida, até as *fake news*², que também estão a serviço dessa manipulação.

Em nível de Ensino Médio, os professores incorrem no erro de encerrar a discussão sobre Astronomia nas obras de Kepler, Galileu e Newton, levados pela grade curricular que muitas vezes exclui a Física Moderna, deixando de fora a abordagem astronômica sob a ótica de Einstein e outros cientistas importantes do século XX, inclusive os mais recentes como Stephen Hawking. É claro que é necessário evidenciar a crucial mudança de paradigma trazida por aqueles que passaram a afirmar que a Terra, os planetas conhecidos e a lua, giravam em torno do Sol (heliocentrismo), mas não menos revolucionário para o mundo da Ciência foram os adventos da Relatividade de Einstein, da Teoria Quântica de Max Planck e a Mecânica Quântica de De Broglie, Heisenberg e Schrödinger.

Nossos alunos se interessam por acontecimentos da Física atual, especialmente no que diz respeito às teorias que tentam desvelar os segredos da origem do universo, pela nossa eterna busca em saber de onde viemos. O bóson de Higgs e os resultados dos experimentos da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), suscitam a curiosidade dos jovens que ainda vivem a inquietação daqueles que não se conformam com respostas sem cunho científico.

² O termo *fake news* significa notícias falsas.

2.2. A Alfabetização científica

Ensinar Física com uma contextualização histórico-crítica contribui, no nosso entender, com a tão perseguida alfabetização científica³, que é diferente da alfabetização da língua materna e da alfabetização matemática, e de difícil mensuração. É claro que o alfabetizado cientificamente não é aquele sujeito que decora algumas fórmulas de Física para fazer uma determinada prova de determinados assuntos, onde as questões abordadas são meramente mecânicas, sem vida, sem contextualização, que de forma prática não servem para nada.

Esse mesmo sujeito que pode, até ter se saído bem nessa prova, pode cometer ações de desconhecimento ou pouco engajamento ecológico ao jogar uma latinha de refrigerante na rua, ou ainda associar certos fenômenos naturais que são facilmente explicados cientificamente a um transcendentalismo ingênuo.

Em tempos de compartilhamento das chamadas *fake news*, que demonstram por um lado a covardia das pessoas que difundem mensagens difamatórias escondendo-se atrás de uma tela de computador ou de um *smartphone*, e por outro lado a ingenuidade de acreditar facilmente em mensagens fantasiosas sem a devida apuração dos fatos com fontes seguras, a alfabetização científica pode ser uma caminho para atenuar essa epidemia social.

É claro, que essa é uma análise ainda simplista, pois existem outras variáveis que ajudariam a explicar essa epidemia social de compartilhamentos de mensagens falsas ou tendenciosas para um ou outro lado de uma sociedade ideologicamente muito polarizada em que vivemos atualmente.

No sentido mais amplo, entendemos que a alfabetização científica nas áreas de ciências humanas e da natureza, não só contribuiria para uma melhor leitura dos fenômenos sociopolítico-econômicos e dos fenômenos naturais do mundo em que vivemos, como também, para a formação de um cidadão mais crítico e consciente de sua cidadania. Segundo Lucena & Filho (2017): “Processos históricos e o suscitado de questões epistemológicas emergem como ajudas importantes que podem propiciar um ensino mais qualificado”.

Ter acesso à história da construção do conhecimento científico é, sem dúvida, um facilitador da alfabetização científica. Infelizmente, nas nossas escolas

3 Segundo Chassot (2016, p.70): “[...] poderíamos considerar a alfabetização científica como o conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem.”

secundárias, em geral, os alunos são privados dessa contextualização histórica, o que contribui para o desinteresse por disciplinas como Física, química e biologia, três extraordinárias áreas da ciência que terminam sendo transmitidas de forma enfadonha e até mesmo quase incapaz de prover espaço para uma genuína motivação nos corações e mentes dos estudantes.

Atualmente, em vários países do mundo vivemos uma preocupante onda ultra conservadora nos campos social, político e religioso, que tem se utilizado da Ciência de forma leviana e falsa para disseminar supostas teses, sem o menor amparo científico. Algumas delas inclusive tentam desqualificar teorias e descobertas científicas consagradas e comprovadas há décadas ou até mesmo há séculos. Como exemplo podemos citar a baixa cobertura de vacinação contra o sarampo no nosso país e nos Estados Unidos, algo que despertou a preocupação de entidades governamentais. Ao que tudo indica, muito provavelmente, esse fato deve-se à disseminação de postagens nas redes sociais de supostos trabalhos científicos que defendem a tese de que a vacina contra essa doença poderia causar Autismo além de não permitir o desenvolvimento do sistema imunológico das crianças que são vacinadas.

Aqui no Brasil, surfando nessa onda conservadora, não faltam pessoas questionando o Heliocentrismo; defendendo que a Terra é plana; contrapondo-se ao Evolucionismo em prol do Criacionismo, inclusive reivindicando que esse último esteja nos livros didáticos. Todas as defesas com argumentos pífios, insustentáveis, travestidos de uma falsa Ciência que tem confundido a população leiga, onde muitos passam a acreditar em tais absurdos. Num país de milhões de analfabetos e outros milhões de analfabetos funcionais, aqueles que conseguem ler mas sem compreender o que estão lendo, não é difícil entender como essas pessoas são presas fáceis, mesmo em pleno século XXI.

Atuando como professor já tenho me deparado com alunos defendendo essas falsas teorias, o que nos leva a indagar como numa instituição cujo propósito, entre outros, é o de divulgação científica, podemos encontrar tais distorções. A resposta certamente não é simples e envolve muitas variáveis. Uma delas certamente está na forma como se ensina as Ciências da Natureza, onde para cumprir currículos extensos com tempo restrito, os professores se apressam em transmitir a extensa grade da disciplina, forçando os alunos a decorem fórmulas e nomes, sem levantar

as devidas contextualizações científicas e os argumentos para sustentar a veracidade das teorias.

Outro fato que ajuda a explicar a vulnerabilidade de nossos alunos está no distanciamento e nas falhas de comunicação da Universidade, a grande fomentadora da Ciência, com a sociedade, que deveria ser a grande beneficiada nesse processo de construção do conhecimento. O mundo científico está no imaginário das pessoas comuns como algo distante e intangível, habitado por um universo masculino caucasiano de pessoas de inteligência muito privilegiada que parecem pertencer a outros mundos, outras realidades. Em contra partida as falsas divulgações científicas são feitas por sujeitos aparentemente comuns, muito mais parecidos com o público leigo ao qual querem alcançar, com discursos didáticos e sedutores. Nos dias de hoje a má divulgação científica acontece preferencialmente nos ambientes virtuais, por meio de diferentes plataformas, como Youtube, Facebook, Instagram e outros. É claro que esses ambientes virtuais são plurais o suficiente para também conter um bom conteúdo científico, porém utilizando-se muitas vezes de uma linhagem simplista demais para o rigor científico da informação, já que mira um público em geral leigo. Segundo Brockington & Mesquita (2016):

A linguagem desempenha um papel fundamental na produção textual da divulgação científica, e fazê-la de maneira adequada mostrar-se ser o maior dos desafios. Como simplificar sem perder o rigor ou induzir a erros? como tornar atraente algo cuja validade e reconhecimento exigem um conjunto de conhecimentos distantes do cidadão comum?

A má divulgação científica não é necessariamente uma notícia levemente mentirosa, mas na tentativa de isentar o leitor da linguagem rebuscada, incorrem-se em equívocos e uma distorcida interpretação do que está sendo divulgado.

Não achamos que a contextualização do assunto abordado com uma visão histórica seja a solução para todos os problemas e desafios enfrentados pelos alunos, mas acreditamos que possa trazer uma visão mais crítica e mais humana das Ciências em geral, inclusive com a possibilidade de integralizar diferentes áreas do conhecimento, diminuindo a vulnerabilidade e ingenuidade das pessoas, fato que tem trazido muitos problemas sociais.

Essa proposta da multidisciplinaridade no ensino de Ciências com uma abordagem histórica, vai além da contribuição para a formação de um futuro profissional competente naquilo que faz, mas também alguém que tenha uma boa

visão interpretativa dos aspectos sociais, políticos, econômicos e éticos do mundo em que vivemos. Segundo Santos (1998 apud CHASSOT, 2016, p.80-81):

Para tomar uma decisão, o cidadão precisa ter informações e a capacidade crítica de analisá-las para buscar alternativas para a decisão, avaliando os custos e benefícios. A resolução de um problema que se insere na vida do cidadão é diferente das soluções dos problemas acadêmicos, geralmente colocados na escola. Para a solução de um problema escolar, tem-se uma definição completa do problema, cujo resultado já é esperado e cuja solução é tomada sob o foco disciplinar, usando-se muitas vezes algoritmos, e uma consequente avaliação como certo ou errado. Já a tomada de decisão de problemas concretos do cidadão é feita a partir de uma questão não exatamente definida, cujo resultado é previsto com alternativas múltiplas e cuja solução é tomada sob o foco multidisciplinar, por meio de discussões, sendo avaliada pela análise de custos/benefícios. Ou seja, enquanto o problema escolar tem caráter bem objetivo, a tomada de decisão tem caráter muito subjetivo.

Em nossa área de ciências exatas, um profissional que tem a sensibilidade de atentar para questões que vão além dos aspectos técnicos, preocupando-se com questões de bem-estar humano e coletivo, será diferenciado e indispensável às novas demandas do mundo em que vivemos.

Defendemos um ensino de uma ciência com menos considerações ideais para promover uma melhor articulação com o mundo real que os alunos enfrentarão fora da escola. Na abordagem de teorias, leis ou princípios físicos, desprezar elementos, constantemente presentes no nosso cotidiano é maquiagem a realidade, distanciando a teoria da prática e dificultando sua devida compreensão.

Por outro lado, apresentar as teorias prontas e acabadas significa tratar a ciência com um simplismo que distorce completamente a realidade árdua de como surgiu e se desenvolveu os caminhos para se chegar a um produto final. Jenner em artigo sobre a inserção da história e filosofia da ciência no ensino de Física, questiona a excessiva linearização dos livros didáticos a respeito das leis e teorias estudadas, como se os acontecimentos históricos que estão por trás da evolução da ciência não fossem recheados de idas e vindas, de controvérsias, de avanços e retrocessos, de escolhas de caminhos que não levaram a lugar algum, ou o acaso que trouxe um lampejo para solucionar um impasse.

Em um outro artigo, mas mantendo o tema da excessiva linearização dos assuntos abordados pelos livros didáticos e que servem de guia para os professores, Jenner exemplifica esse reducionismo no ensino de Física ao se abordar a Lei da Inércia de Newton, sem as incríveis contribuições de seus antecessores, em especial de Galileu que já havia chegado muito perto da ideia que

teria Newton anos depois, apenas pelo fato desde último ter intuído a ‘força’ para explicar a inércia, algo não alcançado por Galileu. Mas a lei da persistência do movimento do italiano é uma porta escancarada para a lei da inércia do inglês. Segundo Lucena & Bastos Filho (2017):

Poder-se-ia ingenuamente conjecturar que isso não seria importante, pois independentemente se foi Galileu ou não a formular a lei de inércia na sua generalidade, ela está aí. No entanto, se isso fosse desprezado, então a *natureza da ciência* enquanto conflito de concepções seria desconsiderada com evidentes prejuízos para a formação cultural e para a própria prática da atividade científica.

Tratar dos bastidores históricos no ensino de ciência pode ser uma boa estratégia para amenizar essa assepsia científica, até porque a busca pelo conhecimento científico está recheada de disputas políticas, blefes, trapanças e traições, a despeito inclusive da história de vida de Albert Einstein abordada nesse trabalho. Segundo Chassot (2016, p.101):

Assim, observamos que não podemos ver na ciência apenas a fada benfazeja que nos proporciona conforto no vestir e na habitação, nos ensina remédios mais baratos e mais eficazes e até alimentos mais saborosos e mais nutritivos ou ainda facilita nossas comunicações. Ela pode ser – ou é – também uma bruxa malvada que programa grãos ou animais que são fontes alimentares da humanidade para se tornarem estéreis numa segunda reprodução.

Sob o nosso ponto de vista, os alunos não deveriam ser privados desses bastidores da história do conhecimento científico, sob pena de se distanciarem da verdade dos fatos históricos, o que significaria um estímulo à ingenuidade e à visão acrítica.

No Brasil, enfrentamos uma série de problemas nessa busca em tornar as aulas de Ciências, em especial de Física, menos tecnicista e mais humana, sem desprezar alguns formalismos matemáticos necessários, por exemplo, para demonstrações de fórmulas. Um desses problemas está na resistência de muitos docentes dos cursos de licenciatura e bacharelado, a uma mudança de atitude, como intercambiar com os professores dos Centros de Educação que ministram as disciplinas específicas da licenciatura.

Aliás, a relação entre departamentos de Ciências Exatas e de Centros de Educação não tem sido nada amistosa, com exceção de uma pequena parcela de professores de Exatas, que lutam quase solitariamente por uma dimensão mais

humana na formação de futuros professores que habitam as salas de aula dos cursos de licenciatura.

É claro que o processo histórico de construção do conhecimento não pode se ater a nomes e datas cronológicas, sem a análise crítica dos bastidores políticos e sociais da época.

Na própria formação de professores dentro desse contexto histórico há tendências clássicas, como certas adjetivações que se dá à Ciência, que leva a uma supervalorização de determinadas fases da evolução humana, em detrimento de outras fases relegadas a um injusto desconhecimento de sua importância.

Refiro-me à adjetivação de *Ciência Moderna* que data do século XVI, com a revolução copernicana, onde cientistas como Copérnico, Galileu, Kepler e Newton criam um novo olhar para a ciência, questionando e negando as teorias aristotélicas adotadas com mãos de ferro pelo Estado e pela Igreja Católica, dando um novo ritmo de crescimento da evolução do conhecimento científico, que parecia andar a passos de tartaruga no período da Idade Média, onde a ciência é adjetivada como Antiga ou Medieval.

Essas adjetivações parecem conotar que a ciência nasceu de fato com Nicolau Copérnico e seus sucessores, que o que se fazia antes é digno de desprezo, afinal de contas seria um absurdo achar que a Terra é um cubo e tudo, o mais gira ao seu redor, inclusive o Sol, segundo a teoria geocêntrica que imperava no período pré-copernicano. Ora, incorreremos no erro do anacronismo se não considerarmos as circunstâncias dessa idade da humanidade, onde os aspectos sociais, políticos e religiosos criavam uma enorme barreira à evolução do pensamento científico.

Outros ramos do conhecimento humano, como as Artes, por exemplo, valorizam o passado, tão longínquo quanto seja, tanto quanto o presente, ao contrário da visão elitista da Ciência, que despreza o velho e errado em detrimento do novo e certo. Segundo Pécheux (1977apud CHASSOT, 2016, p.90):

A Ciência pode abandonar seu passado. Aos artistas é proveitoso estudar a história da Arte, por que a Arte do passado é, ou pode ser tão nova tão viva como a Arte do presente; mas a Ciência do passado com certeza é inferior à nossa e foi inteiramente substituída por esta. Os mais recentes tratados de Ciência contêm tudo que existia de bom nos precedentes; guardaram o melhor e rejeitaram o que era errôneo e fútil. A perfectibilidade da Ciência é que torna inútil seu passado.

Outro aspecto que chama muita atenção no ensino da história da Ciência é o fato de parecer que a Ciência se desenvolveu apenas no continente europeu; sabemos muito pouco da Ciência do lado oriental do mundo, de países como China, Japão e Índia. O que nós sabemos da Ciência que se praticava na América Latina, no período pré-colombiano? Os Astecas, os Incas, os Maias e os indígenas que habitaram as Américas do Sul e Central e que foram dizimados pelo mundo civilizado europeu, têm uma riquíssima história nas mais diferentes áreas do conhecimento humano, a citar as artes, a culinária, as técnicas agrícolas, a medicina, a astronomia, a astrologia, a religião e a tecnologia. Segundo Chassot (2016, p. 94):

Quero, aqui e agora, ao propor que visitemos a América Latina dos tempos anteriores à chegada dos *civilizados*, que façamos esta visita despindo-nos um pouco de posturas eurocêntricas, brancas, cristãs, masculinas, e falemos, também, como homens e mulheres que vivem numa terra que tem uma história anterior àquela que usualmente nos transmitiram e nós, ainda, continuamos contando e até ensinando.

Adjetivar a Ciência como Moderna a partir do século XVI, demonstra a nossa forte inclinação para a Ciência europeia, desconsiderando as contribuições científicas e culturais de povos de outros continentes.

Historicamente, a Ciência sempre teve uma íntima relação com o poder, esteve a serviço do processo devastador de colonização não só nas Américas, mas na África e em parte da Ásia, fomentou as duas grandes guerras mundiais, a Guerra Fria no período após a segunda guerra mundial, além do imperialismo econômico dos Estados Unidos. Nossos alunos não podem ser privados dessas informações que eliminam definitivamente a neutralidade da Ciência.

Acreditamos que a abordagem histórico-crítica da Ciência, também vai em busca de um ensino menos apolítico, que poderá contribuir para uma consciência libertária dos nossos alunos, uma independência e uma liberdade de pensamentos e ideias que os tornem cidadãos cada mais críticos e conscientes de seu papel nessa sociedade tão complexa em que vivemos. Para isso, precisamos levar para a sala de aula e discutir com a ativa participação de nossos alunos uma ciência menos asséptica, menos abstrata, menos dogmática e cujo acesso seja mais democratizado e menos elitizado.

É claro, que o caminho para uma alfabetização científica de qualidade e frutífera que contribuirá para uma sociedade melhor, é árduo e obstaculoso. Num

Brasil de muitos interesses divergentes, de ideologias político-partidárias voltadas para a educação e de uma forte corrente conservadora que apregoa uma apoliticidade e uma acriticidade, tentar trilhar esse caminho torna-se um ato de rebeldia.

Outra razão pela qual defendemos a abordagem histórica da Ciência para a construção de uma alfabetização científica, é que desde o final do século XX aos dias de hoje, vivemos uma espécie de presenteísmo que consiste no desprezo ao resgate do passado, não só em relação à evolução da Ciência, como ao histórico político, social e cultural de gerações passadas, que trariam uma grande contribuição para entendermos melhor o presente, e até fazermos algumas conjecturas sobre o futuro. Segundo Hobsbawm (1995 apud CHASSOT, 2016, p.13):

A destruição do passado – ou melhor, dos mecanismos sociais que vinculam nossa experiência pessoal à das gerações passadas – é um dos fenômenos mais característicos e lúgubres do final do século XX. Quase todos os jovens de hoje crescem numa espécie de presente contínuo, sem qualquer relação orgânica com o passado público da época em que vivem. Por isso os historiadores, cujo ofício é lembrar o que os outros esquecem, tornam-se mais importantes que nunca no fim do segundo milênio.

Os cientistas ao longo dos séculos têm buscado criar teorias que ampliem, neguem ou substituam as anteriores, sempre trilhando um caminho para interpretar de maneira ampla e mais fiel possível os fenômenos da natureza. Não podemos, enquanto educadores, tratar de uma teoria apresentada em sala de aula como algo isolado, sem um passado, sem mostrar que, provavelmente, a mola propulsora para se chegar nessa nova teoria foi a inquietação de alguém por questionar o que estava posto.

Adjetivando a Física, mais uma vez numa leitura eurocêntrica, em Clássica e Moderna, cuja mudança de uma para a outra acontece na virada do século XIX para o século XX, manifestadas principalmente nas teorias einsteinianas, temos um típico exemplo de novos experimentos que começaram a surgir e que divergiam grosseiramente das previsões clássicas, o que tornou iminente uma nova forma de pensar o mundo e o universo.

A Teoria Quântica iniciada por Max Planck e a Teoria da Relatividade de Einstein são as grandes responsáveis por essa mudança de paradigma, mas que sofreram forte resistência de conservadores burocratas, que preferiam manter o

status e poder, à se arriscar em algo que poderia trazer-lhes a glória mas também o fracasso e a desmoralização.

Na Ciência não deve haver verdades absolutas, mas sim transitórias, onde a explicação para determinados fenômenos podem sofrer alterações com o tempo e é preciso estar em sintonia com essas modificações, principalmente nos dias atuais em que se expande o acesso à internet, o que torna a informação de fácil e rápido alcance.

Outra questão a ser tratada nesse processo de alfabetização científica é a desqualificação dos chamados saberes populares, como uma forma de elitização da Ciência. Quando a ideia é a democratização do acesso à educação, nesse país continental e multicultural, não parece razoável desprezar as tradições culturais da região a qual pertence à escola, tornando o conhecimento científico algo distante da realidade da comunidade em que se insere o aluno, criando uma padronização crua e sem compromisso com as peculiaridades da região em que os alunos habitam, a serviço de uma globalização manifestada principalmente nos veículos de comunicação em massa.

Acreditamos que o papel do professor seja de discutir esses saberes e confrontá-los com o conhecimento científico afim, para que os alunos descubram as fronteiras daquilo que pode ser válido e acatado na sua vida prática. Até porque, ninguém é um tábula rasa. Ou seja, para qualquer assunto que é exposto, sempre haverá um mínimo conhecimento prévio, por mais ingênuo e cientificamente incorreto que seja, mas que faz parte das vivências anteriores dos alunos, advindos muitas vezes dos saberes populares do seio familiar e da comunidade, e que não devem ficar ausentes do processo de ensino-aprendizagem, para que se possa construir de forma mais sólida uma reacomodação daquele conhecimento.

No caso específico do ensino de Física, uma crítica pertinente em nível de Ensino Médio é o excesso da matematização e abstração, onde os problemas são quase que puramente matemáticos, com uma única e perfeita solução, distante da complexa e multivariável realidade do mundo em que vivemos. É preciso mascarar demais a realidade para aceitarmos os resultados de nossos cálculos teóricos, a despeito, por exemplo, do estudo em cinemática da queda dos corpos em que todos, independentemente de sua massa, caem com a mesma aceleração $a = g$, onde g é a gravidade do local da queda.

Fazemos inúmeras questões em que os corpos, independente de seus pesos, caem com a mesma aceleração, onde sequer cita-se quem são esses corpos. Ora, não é nada intuitivo que uma pena e um martelo tenham quedas idênticas. Esse fato só seria verdadeiro, se o meio fosse o vácuo, mas o fato é que não vivemos no vácuo, e a queda de uma pena é mais demorada do que a de um martelo. A Física com suas considerações ideais distancia-se do senso comum, sendo um convite para o desinteresse e o desestímulo dos alunos.

Desde a mudança do Geocentrismo para o Heliocentrismo no século XVI até a Teoria da Relatividade de Einstein no início do século XX, vivemos a era da Física determinista e que foi a tônica do ensino de Física até os dias de hoje, tanto na escola secundária quanto nas universidades. Nossos alunos não tem a oportunidade de saber, a não ser por curiosidade própria, sobre a Mecânica Quântica que surge a partir dos anos de 1920, que trata de uma Física Probabilística inaugurada com o Princípio da Incerteza de Heisenberg, que a despeito do que já havia acontecido anos antes com a Relatividade, agita o mundo científico e traz novos olhares para uma redefinição da matéria e da origem do universo, mudando o olhar de uma Ciência que parecia concluída para uma ainda em construção. Segundo Chassot (2016, p. 215):

Antigamente, a Ciência nos falava de leis eternas. Hoje, nos fala do universo ou da matéria e nos propõe sempre novos desafios que precisam ser investigados. Este é o universo das probabilidades e não das certezas.

Ainda é notória uma desconexão, uma falta de sintonia entre o que está escrito nas mais recentes propostas curriculares, e o que de fato está sendo praticado em sala de aula pelos professores. Principalmente, em disciplinas de ciências da natureza como Física, Química e Biologia, a escola ainda insiste em conteúdos programáticos arcaicos que não acompanham essas novas propostas, distanciando cada vez mais a ciência da realidade prática dos alunos, além de não desenvolver nesses, a capacidade de abstrair e interpretar uma situação-problema contextualizada, a fim de associá-la a uma Lei ou conceito teórico que encaminhe a solução do problema. Essa análise, ajuda a explicar o rendimento abaixo do que podia se esperar como aceitável em ciências da natureza no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Ainda que esse exame sofra críticas quanto ao aferimento das múltiplas inteligências e habilidades dos nossos alunos, houve alguns avanços em relação

aos vestibulares tradicionais. No mundo capitalista de busca incessante pelo melhor resultado, as escolas secundárias, principalmente da rede privada, tornam-se um tanto reféns do modelo positivista do “quanto mais melhor”, muita informação e pouca absorção, tendo que cumprir conteúdos longos e estressantes o que as tornam incapazes de criar uma massa encefálica crítica e politizada. As escolas secundárias da rede pública, apesar de gozarem de uma maior liberdade de ações pedagógicas, há décadas enfrentam sérios problemas estruturantes que já se tornaram crônicos e que inviabilizam um nível qualificado de ensino que se espera.

Tanto na escola privada como na pública, a alfabetização científica com o auxílio fundamental da história da ciência sofre resistência e dificuldade de se estabelecer.

No ensino de Ciências, mais especificamente disciplinas como Física e Química, é preciso rever no ambiente escolar a prática de decorar fórmulas e aplicá-las, desprovidas da análise crítica dos resultados. Chegar a uma temperatura de equilíbrio térmico fora do intervalo entre o corpo mais quente e o mais frio envolvidos na troca de calor; calcular uma velocidade da luz acima de $3 \cdot 10^8$ m/s; concluir que o índice de refração de um determinado meio é menor que 1; são exemplos de resultados fisicamente absurdos, impossíveis de serem praticados e que passam despercebidos pelos alunos. É sabido que num sistema de troca de calor entre corpos de diferentes temperaturas, o equilíbrio térmico acontecerá entre a temperatura do corpo mais frio e a do corpo mais quente; que a velocidade limite do universo é a da luz no vácuo e que o índice de refração de um meio óptico é maior ou igual a zero. Esse desconhecimento dos valores possíveis daquela grandeza envolvida é um indício de déficit na alfabetização científica do aluno. Entendemos que a contextualização histórica dos assuntos abordados numa aula de Física pode auxiliar na atenção do aluno em relação aos resultados calculados, aumentando a possibilidade de atentar para valores esdrúxulos. Ao contextualizar, por exemplo, o segundo postulado de Einstein que trata da constância da velocidade da luz no vácuo independente do referencial adotado, tomando essa como limite máximo de velocidade, poderemos estar mais atentos ao erro de encontrar uma velocidade superior à da luz no vácuo.

Nem tudo que se ensina em Ciências tem a concretude daquilo que pode ser palpável e que facilita a compreensão do assunto abordado. Referimo-nos ao

macrocosmo no estudo da Astronomia e do microcosmo no estudo molecular dos gases ou de modelos atômicos.

Com muita maestria, Einstein faz uma analogia interessante para mostrar a dificuldade de se criar um conceito físico de algo que não vimos. Segundo Einstein (1948 apud CHASSOT, 2016 p.263):

Os conceitos físicos são livres criações do espírito humano e não são, como se poderia acreditar, determinados pelo mundo exterior. No esforço que fazemos para compreender o mundo assemelhamo-nos um pouco ao homem que tenta entender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, ouve o tique-taque, mas não tem como abrir o estojo. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem do mecanismo que ele tornará responsável por tudo o que observa, mas nunca estará seguro que sua imagem será a única capaz de explicar suas observações. Nunca estará em condições de comparar a sua imagem com o mecanismo real.

Os átomos não são visíveis e para tentar imaginar o que acontece no mundo atômico é necessário criar modelos matemáticos baseados em experimentos, o que aumenta o nível de complexidade no estudo desses assuntos e torna imprescindível desenvolver nos alunos a capacidade de abstrair.

3. EINSTEIN: BASTIDORES DA VIDA DO MAIOR FÍSICO DO SÉCULO XX

Intencionado a desvelar as facetas da sua personalidade e os aspectos sociais, culturais, religiosos e políticos do mundo na primeira metade do século XX, época em que Einstein viveu sua fase adulta, esta análise será a base da contextualização histórica que estará presente nas aulas das teorias einsteinianas ministradas para alunos do Ensino Médio.

3.1. Infância, adolescência, início da fase adulta e seus percalços

Einstein nasceu em Ulm, na Alemanha, no dia 14 de março de 1879, o primogênito de seus pais Herman e Pauline tendo posteriormente apenas uma irmã, chamada Maja. Era uma família de origem judaica alemã formada por artesãos e comerciantes, ou seja, não tinham nenhuma relação com a produção científica e não se tinha conhecimento de ninguém com uma mente brilhante que chamasse a atenção.

Com apenas um ano de idade, seu pai decidiu se mudar com toda a família para Munique, na tentativa de ascender financeiramente com a instalação de uma loja de materiais de construção. Mas seu genitor era um comerciante de altos e baixos, chegando em certas ocasiões à falência total.

Einstein não foi considerado pelos seus familiares uma criança prodígio, pelo contrário, só começou a falar com três anos de idade, mais ou menos, quando sua irmã Maja nasceu (BRIAN, 1998, sp apud OLIVEIRA, 2013, p.10).

O fato de não falar quase nada com essa idade preocupava seus pais, mas, mais tarde, falando a respeito disso, ele disse que “quando tinha entre dois e três anos, ele queria dizer frases completas”, para isso ensaiava a frase para si mesmo em voz baixa, mas só pronunciava se lhe parecesse boa (PAIS, 1982, [s.d] apud OLIVEIRA, 2013, p.10-11). Apesar desse fato estar longe de justificar sua mente brilhante, o fato é que essa atitude não era comum para uma criança daquela idade.

Até os sete anos, idade em que foi tardiamente à escola, tinha um comportamento um tanto esquisito, onde oscilava entre momentos de puro isolamento e introspecção, a ataques de fúria com acessos que terminavam sobrando para sua irmã, que chegou a ser atingida por uma enxada, em um desses ataques.

Sua introspecção e timidez foram características que o acompanharam por toda a vida, o que de certa forma parecia contribuir com sua incrível capacidade de concentrar-se em algo que lhe despertava o interesse, podendo ficar horas pensando na solução de algum problema ou em alguma divagação, mesmo que houvesse barulho ao seu redor.

Desde muito jovem, já nos primeiros anos de vida escolar, na Alemanha do final do século XIX, Albert começou a experimentar a discriminação antissemita por parte de seus colegas da escola, mais uma razão para o seu estranho isolamento e sensação de exclusão. A perseguição aos judeus que aconteceu na Europa e mesmo nos Estados Unidos motivou Einstein a se envolver com a luta contra o antissemitismo, entre outras causas que defendeu. No entanto, Einstein nunca chegou a ser um ativista contumaz de causa alguma, pois julgava-se um homem de ideias livres, um apátrida que não quis assumir a liderança de qualquer movimento humanitário.

Aos nove anos de idade, Einstein estudou no Luitpold Gymnasium, onde mostrou pouco interesse pelo sistema da escola, muito rigorosa, própria do ensino alemão à época. Einstein não teve boa adaptação, era obrigado a praticar exercícios físicos para os quais não tinha a menor aptidão, além de ter que repetir e decorar fórmulas matemáticas. Um ensino mecanicista que nada tinha a ver com personalidade e que o mesmo viria fazer severas críticas na sua fase adulta. Era um ensino mais voltado às Ciências Humanas, que não despertava o interesse de Albert – pelo menos naquela fase da vida – dando pouca ênfase às línguas estrangeiras, matemática e Ciências da Natureza. Na fase adulta no seu processo de intelectualização interessou-se por diferentes áreas, como Filosofia, Sociologia, História da Ciência, música, artes e língua estrangeira, que nunca foi o seu forte, pois não falava bem nem inglês e nem francês.

Um dos grandes problemas de Einstein na escola esteve no seu autodidatismo, que irritava muitos professores, alguns dos quais o prejudicou quando o mesmo precisou da indicação desses professores para conseguir algum trabalho em tempos de grande necessidade, pois esses sentiam desprivilegiados pela pouca importância dispensada por Einstein. Precocemente, começou a estudar matemática e ciências, sem que ninguém o tivesse recomendado, mas por pura curiosidade e prazer, lia revistas científicas, mas também clássicos da literatura que o atraísse.

Essas características, citadas anteriormente, ainda não seriam suficientes para justificar a singularidade de suas potencialidades criativas. Einstein carregava uma certa inquietação, própria de pessoas questionadoras, e desde jovem se encantava com a descoberta de pequenas coisas que aos olhos da maioria dos pares de sua faixa etária passaria despercebido, como a primeira vez em que viu uma bússola magnética apresentada pelo seu pai, que lhe causou grande fascínio. Nas suas próprias palavras:

Aos 4 ou 5 anos, experimentei esse sentimento quando meu pai mostrou-me uma bússola. O fato de a agulha comportar-se de uma certa forma não se encaixava entre os tipos de ocorrências que podiam ser colocadas no mundo inconsciente dos conceitos (eficácia produzida pelo toque direto). Lembro-me ainda, ou pelo menos creio que me lembro- que essa experiência causou-me uma impressão profunda e duradoura. Devia haver algo escondido nas profundezas das coisas (EINSTEIN⁴, 1982, p. 18-19)

Quando recebeu de presente um manual sobre a geometria euclidiana, Einstein teve o seu segundo encantamento, o que certamente também contribuiu para aguçar ainda mais sua curiosidade científica.

Um dos poucos costumes judeus de sua família era convidar alguma pessoa pobre para almoçar em sua casa. Uma delas era o estudante de medicina Max Talmud que levava para Einstein livros de divulgação científica como *Kraft und Stoff* (Força e Matéria) de Ludwig Büchner e a série *Naturwissenschaftliche Volksbücher* (Ciência para o Povo), de Aaron Berstein, fato que certamente contribuiu para colocar Einstein nos trilhos da ciência.

Aliado ao encantamento provocado pelo universo científico que se apresentava, Einstein desenvolvia um espírito indagador e inventivo, conseguindo se despir das ideias que estavam postas e aparentemente imutáveis para lançar questionamentos, alguns dos quais ele próprio traria as respostas que viriam revolucionar a Física.

A despeito disso, ainda aos 16 anos teria se perguntado se seria possível acompanhar um feixe de luz ao ponto de se colocar como um observador em repouso em relação ao tal feixe. Posteriormente concluiria que esse fato seria impossível, e lhe inspiraria a desenvolver a famosa teoria da relatividade restrita 10 anos depois.

⁴ Este trecho foi extraído das páginas das *Notas Autobiográficas*, de Einstein a partir da tradução em língua portuguesa (ver lista de referências)

Na adolescência chegou a ensaiar uma maior aproximação com as práticas do Judaísmo, mas as leituras científicas daquele curioso jovem interrompeu por definitivo essa investida religiosa, passando a observar a enorme divergência entre ciência e religião, além de se contrapor à forma autoritária como a Bíblia impunha suas leis, estendendo-se essa rejeição ao autoritarismo que também permeava o mundo científico, característica que o acompanharia por toda vida. Ainda nessa fase adolescente já começara a estudar cálculo diferencial e integral, mas era eclético o suficiente para ler, por exemplo, sobre o polêmico filósofo do século XVIII, Emmanuel Kant, que defendia, entre outras coisas, que os outros planetas do nosso sistema solar fossem habitados, a não existência de Deus e a adoção de um governo mundial que resolvesse o problema das guerras, essa última ideia, Einstein viria posteriormente defender.

Especialmente na fase adulta passou a ser uma constante ironizar figuras autoritárias, zombando-as elegante e inteligentemente, inclusive dele próprio, revelando uma das facetas de sua personalidade, o humor. Em suas palavras: “Para me punir por meu desprezo pela autoridade, o destino fez de mim uma autoridade”. (EINSTEIN, [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p. 36).

Em 1893, com sérios problemas financeiros os Einstein fecharam a empresa e foram tentar recomeçar a vida em Milão, na Itália. Porém, Albert ficou em Munique, na casa de parentes distantes a fim de prestar o exame de admissão, obrigatório naquela época. Uma fase escusa que Einstein não gostava de lembrar, pois adicionando-se à inadaptação escolar vinha a ausência da família. Começou a ter problemas de saúde, provavelmente de cunho psicológico, pela total rejeição àquela circunstância de vida, até que conseguiu um atestado de esgotamento de um médico, irmão mais velho de Talmud, e convenceu seu professor a lhe fornecer um certificado de proficiência em matemática, sendo assim dispensado pela escola, mudando-se para Milão, deixando seus pais surpresos.

Na Itália, estudando em casa, prestou, precocemente em 1895, exame para a muito prestigiada escola Politécnica Suíça de Zurique, sendo reprovado. Mas apesar disso, em reconhecimento pelo evidente talento em Física e Matemática, foi aconselhado pelo diretor da Politécnica a estudar na escola cantonal de Aarau, próximo a Zurique, hospedando-se na casa da Família Winteler, onde se preparou melhor para encarar de novo no ano seguinte o exame para a Politécnica, sendo agora aprovado.

Finalmente, Einstein encontrara um ambiente escolar que lhe agradasse, onde pôde fazer experiências em bons laboratórios, estudar com mais liberdade, o que naturalmente resultou em excelentes notas, e onde começou seu primeiro romance com uma colega estudante de Física Mileva Maric', que viria ser sua primeira esposa. Foi na Suíça que Albert se encontrou como cientista, país que ele viria a considerar seu verdadeiro lar, acima de sua terra natal Alemanha e os Estados Unidos, este último onde se exilou antes da segunda grande guerra. Encantava-se com a beleza e o mistério das montanhas suíças, consideradas inspiradoras para suas divagações.

Entre 1897 e 1903, ano de seu casamento, Einstein trocou inúmeras cartas de amor com Mileva, publicadas nos anos 1980 cujo conteúdo revelou que nessa época ele estava em plena atividade de pesquisa científica, de maneira bem diversificada, não se restringindo apenas a um ramo específico da Física. Segundo o que revelam especialistas no assunto, eram citadas a eletrodinâmica dos corpos, o problema do éter, a relatividade de Galileu, as forças moleculares, a termoeletricidade, a físico-química e a Teoria Cinética dos Gases.

Na Politécnica, Einstein continuaria seus estudos solitários, que iam além dos conteúdos das disciplinas estudadas no curso, o que terminava por negligenciar trabalhos propostos pelos professores, inclusive com ausências em algumas aulas, criando com isso desentendimentos com alguns mestres. O seu autodidatismo, suas posições questionadoras, seus caminhos alternativos e independentes para solucionar determinados problemas foi deixando desafetos pelo caminho, professores que lhe faziam duras críticas. Mas a recíproca era verdadeira, pois Einstein achava a maioria dos professores de Física da Politécnica ultrapassados que não atendiam aos seus questionamentos.

Um desses desafetos foi Heinrich Friedrich Weber, que reclamava das práticas laboratoriais do seu aluno, ao mesmo tempo em que Einstein ficara insatisfeito com suas aulas teóricas, pois esperava que seu professor abordasse a teoria do eletromagnetismo de Maxwell, que muito interessava à Einstein e que lhe serviria de apoio alguns anos depois para o desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita.

Também indagava o professor sobre a recente Teoria Cinética dos Gases de Boltzman, porém seu mestre não só não abordou esses temas como sequer tinha

conhecimento de tal, o que levou Einstein a estudar por conta própria essas teorias. Segundo Brian (1998 apud OLIVEIRA, 2013,p.17).

Einstein não suportava a maioria daqueles professores aristocratas por considerá-los "irracionais e ignorantes". Por tal razão deixava muitos deles irritados com suas colocações e "falta de compromisso" com determinadas disciplinas, como acontecia com seu o instrutor de Física, Pernet (Jean Pernet), quando Einstein jogava fora "as instruções oficiais, por ele fornecidas, de como conduzir uma experiência, sem fazer uma segunda leitura.

Por outro lado, também existiam professores que reconheciam o talento e as qualidades incomuns de Einstein, mas era uma minoria diante daqueles que o consideravam um zombador insolente. Essa rejeição à figura controversa de Einstein trouxe-lhe consequências nada agradáveis, pois ao concluir seu curso na Politécnica, em 1900, estava habilitado à ensinar em qualquer escola suíça, porém não foi chamado para coisa alguma, ao contrário dos colegas que se formaram na mesma turma. Um de seus anseios era se tornar assistente de algum professor da Politécnica.

Seu principal desafeto, o professor Weber, não permitiu que ele fosse admitido como professor assistente e Albert ainda descobriu posteriormente que seu ex-professor dava péssimas referências a quem o procurasse para perguntar sobre seu ex-aluno. Mesmo assim, Einstein continuou tentando alguma oportunidade em outra universidade, mas sem sucesso, o que lhe trouxe dificuldades financeiras, levemente atenuadas por empregos provisórios em escolas particulares de Ensino Médio.

Contudo, essas dificuldades de percurso não o desestimulava e Einstein mantinha firme seus estudos solitários, procurando publicar trabalhos em revistas científicas e chegando a desenvolver uma tese de doutorado, mesmo sem estar integrado a um ambiente acadêmico. Uma grande decepção para Einstein, refere-se à não aceitação de sua tese pela Universidade de Zurique.

Nesse contexto faz-se necessário destacar a presença de Mileva, que foi companheira de Einstein durante um importante período de sua vida e com quem teve um relacionamento que oscilou momentos de amor, companheirismo e inspiração, a momentos muito conturbados, esses últimos mais presentes nos anos que antecederam a separação do casal. Mileva era uma menina prodígio, de origem

eslava, cujo pai percebeu desde cedo sua inteligência e aptidão para as ciências, nada comum para uma garota naquela época.

Em toda sua vida escolar, inclusive na Politécnica de Zurique, onde conheceu Einstein, esteve em ambientes predominantemente masculinos, muito machistas evidentemente, sentindo-se pressionada a se destacar diante de um ambiente hostil. Essa pressão trouxe-lhe perturbações psicológicas que a atormentaram, um dos motivos pelos quais o relacionamento com Einstein começou a se deteriorar.

Aliás - segundo revela o documentário Genius da Discovery Chanel sobre a vida e obra de Einstein - no calor das discussões com Albert, Mileva acusava-o de tê-la seduzido e a desviado do foco nos estudos, razão pela qual teria colecionado frustrações, como a reprovação no exame final da Politécnica, mesmo exame em que Einstein foi aprovado.

De fato, Einstein se encantara com aquela jovem mulher curiosa e inteligente, com quem ele podia compartilhar momentos de afagos amorosos e discussões sobre Física. Ao longo do tempo, Mileva sob as circunstâncias que foram surgindo foi se tornando uma mulher amarga e rancorosa.

Existem especulações de que Mileva teria contribuído para a elaboração da relatividade restrita de 1905, e que inclusive deveria ter sido apresentada com uma coautora da teoria. Porém, os maiores estudiosos da vida de Einstein nunca levaram a sério tal possibilidade, visto que não há nenhum indício dessa participação criativa no trabalho de Einstein, apesar de Mileva ter sido uma excelente aluna de Física e matemática num ambiente predominantemente masculino. Por Mileva ter uma origem sérvia, autores sérvios tentam imputá-la essa parceria intelectual com Einstein, por questões provavelmente patrióticas.

Logo depois do exame final da Politécnica, acontece uma gravidez inesperada de Mileva, que teve que se mudar para Sérvia, onde moravam seus pais, para esconder a gravidez de seus sogros. Seu pai que a apoiava e apostava no seu talento, chegou a sugerir que Mileva abortasse, para que ela pudesse continuar investindo numa carreira acadêmica. Porém Mileva não acatou e levou adiante a gravidez.

A gravidez e a chegada de um filho dificultariam severamente as pretensões de Mileva, praticamente selando seu destino de viver à sombra de Einstein, desperdiçando uma veia científica de uma mulher que se restringiu aos cuidados domésticos e com os filhos, algo com que nunca soube conviver.

O casal vivia uma grande dificuldade financeira, mas em suas correspondências para Mileva Einstein mostrava-se otimista com o futuro, cultuando a gravidez de sua mulher à distância, inclusive depois do nascimento de sua filha, provavelmente chamada de Lieserl. Contudo, o conteúdo de cartas posteriores estranhamente não fazia qualquer menção à filha recém-nascida, o que intrigou os pesquisadores. Segundo (BRIAN, 1998 apud OLIVEIRA,2013, p.20).

Muitos acreditam que a filha de Albert Einstein tenha sido dada em adoção e indicam algumas cartas que mostram como evidência, segundo eles, dessa versão. Isso leva a crer que ela viveu, mas foi criada por outra família. Um dos indícios, segundo afirma Denis Brian é o fato de que em 1935, ao ser informado que, na Europa, uma mulher tentava convencer a todos de que era filha dele. Einstein, então, contratou um detetive para averiguar a veracidade dos fatos.

Especialistas da vida de Einstein também defendem que provavelmente seus pais, que sempre foram contrários ao seu casamento, jamais tomaram conhecimento da gravidez de sua mulher e do nascimento de sua filha. Relatos mostram que seu pai teria dado consentimento ao seu casamento apenas no leito de morte, fato jamais repetido por sua mãe.

No entanto, segundo a versão do documentário Genius, a filha de Einstein teria adoecido e vindo a falecer, sem que Einstein sequer a tivesse conhecido pessoalmente pois teria ido visitar o pai, ocasião em que o mesmo também teria falecido. Para se redimir Einstein teria pedido Mileva em casamento e voltaram juntos para a Suíça. Nos primeiros anos de casamento na Suíça, os pais de Mileva foram morar com o casal Einstein para ajudar a cuidar do primeiro filho homem, que nascera, o que permitia que Mileva dispusesse de algum tempo para revisar os artigos de Einstein.

Porém os pais de Mileva, precisaram voltar para a Sérvia e quem passou a morar com o casal foi a mãe de Einstein, o principal desafeto de Mileva, tornando sua vida bastante conturbada e sem tempo para auxiliar seu marido, algo que gostava de fazer.

Na ocasião da publicação do artigo da relatividade, Mileva teria ficado com ciúmes ao ver uma homenagem de Einstein ao amigo Michelle Besso, queixando-se de nunca ter sido homenageada em trabalho algum de seu marido. O mau humor e as frequentes queixas foram piorando a relação entre os dois.

Por ser um nome à época ainda desconhecido na comunidade acadêmica, era muito difícil que alguém desse uma oportunidade a um jovem físico autodidata que se aventurava em ter seu trabalho autoral aceito.

Curiosamente um dos cientistas que rejeitou seu trabalho foi o químico Wilhelm Ostwald, que viria a ser o primeiro cientista a indicar o nome de Einstein para o prêmio Nobel de Física apenas nove anos depois.

Essa fase muito difícil começou a mudar quando em 1902, ano em que Einstein consegue, através de um amigo matemático Marcel Grossmann, um emprego no Escritório de Patentes, em Berna. O diretor da repartição estava precisando de alguém que entendesse de eletromagnetismo e do funcionamento de aparelhos elétricos, com capacidade de atestar a autenticidade e validade de muitos projetos elétricos que surgiam naquela época.

3.2. Relatividade, Quântica e seus desdobramentos

Foi nesse ambiente inusitado que floresceu o nome do maior físico da história. Em 1905, pouco menos de três anos depois, o chamado ano miraculoso, considerado por muitos o ano mais frutífero da história da ciência, Einstein publica quatro trabalhos que abririam as portas para Física Moderna. O primeiro foi a explicação para o efeito fotoelétrico usando a quantização da energia defendida na Teoria Quântica de Max Planck, em 1900. Sabe-se que nem mesmo Planck estava certo de sua hipótese, mas certamente o fato de Einstein apropriar-se de sua teoria para explicar brilhantemente os resultados experimentais do efeito fotoelétrico, contribuiu, em médio prazo, para alavancar a controversia Teoria Quântica. Esse trabalho renderia o prêmio Nobel para Einstein, apesar do mesmo não considera-lo o mais importante. Ironicamente as outras fases da Física Quântica entraram em desacordo com o que pensava Einstein.

O segundo permitia o cálculo do verdadeiro tamanho de um átomo, por meio da difusão e fricção interna de soluções líquidas, trabalho que lhe rendeu o doutorado pela universidade de Zurique. O terceiro falava do movimento aleatório de minúsculas partículas na superfície de líquidos causado pelo movimento térmico, o chamado movimento browniano, o que fez com Einstein defendesse a existência de moléculas, algo que incomodou a velha guarda dos físicos da época, mas que lhe rendeu posteriormente o status de fundador da termodinâmica estatística moderna.

O quarto, o mais famoso de todos, trazia os fundamentos daquilo que se tornaria a teoria da relatividade, passo inicial para uma teoria mais ampla publicada 10 anos depois. Para haver distinção entre as duas teorias, a primeira foi chamada de Relatividade Restrita e a segunda de Relatividade Geral.

Nesse mesmo ano Einstein ainda faz um adendo com três páginas apenas para revelar a famosa equação $E = mc^2$, que relaciona massa e energia, onde c corresponde a velocidade da luz, que simbolicamente seria conhecida como a equação que daria um final trágico à segunda grande guerra, pois teria dado o suporte teórico para a construção da bomba atômica.

Segundo Robson et al. (2005, p. 54):

Sob todos os sentidos, 1905 foi um ano de conquistas científicas miraculosas por parte de um burocrata em patentes praticamente desconhecido e sem contato pessoal com os físicos de renome de época. Nesses trabalhos, havia pouca ou nenhuma menção a escritores cientistas anteriores, e seu autor contava com apenas 26 anos.

A curiosidade precoce e voraz de Einstein, sua incrível capacidade de concentração, sua inteligência, inventividade, originalidade e coragem de contestar o incontestável, foram certamente os ingredientes para este cientista chegar tão longe e mudar os rumos da Ciência no século XX.

É fato que o início de século XX foi marcado por uma grande revolução das experiências científicas, muitas das quais, colocaram em cheque as previsões da Física Clássica, pois divergiam dos resultados experimentais, fato que certamente foi um grande motivador para Einstein contestar o que estava posto como verdades absolutas.

Mas Einstein foi além, visto que muito do que ele defendeu não tinha nenhuma comprovação científica, vindo a ser comprovado anos depois dele ter descrito o fenômeno ou previsto a existência de algo nunca antes detectado. Talvez aí resida o seu grande diferencial como físico.

É importante dizer que, apesar de seu isolamento no trato de suas teorias, estudiosos da vida de Einstein afirmam que ele gostava de debates, mesmo que em alguns deles, Einstein tenha se saído muito mal. Parecia descomprometido com o orgulho, sentimento próprio de muitos intelectuais da academia daquela época, e por que não dizer, dos dias de hoje.

Esses debates muitas vezes aconteciam de forma despretensiosa, onde Einstein reunia amigos para promover trocas de ideias, de assuntos dos mais

ecléticos, chegando a fundar um pequeno clube com seus amigos Conrad Habicht e Maurice Solovine, com um nome pomposo demais para o amadorismo dos encontros, a Academia Olympia, cujo presidente era o próprio Einstein. Ao contrário de Albert que vivia numa penúria financeira, seus companheiros de farra tinham muito dinheiro e promoviam festas regadas a bons vinhos, boa comida, mulheres e discussões filosóficas, literárias e científicas à luz de autores consagrados.

Em carta escrita no dia 25 de novembro de 1948, Einstein escreve a seu amigo Solovine lembrando-se da Academia Olympia; lembremos aqui um excerto desta carta que numa tradução em língua inglesa é o seguinte:

We really had a wonderful time in Bern, when we were intent upon our happy "Academy," which was less childish than the respectable Academies that I became more intimately acquainted with later one (EINSTEIN, 1993, p. 107)

Em uma tradução de nossa lavra para a língua portuguesa, podemos apresentar o excerto acima da seguinte maneira:

Nós realmente compartilhamos um tempo maravilhoso em Berna quando os propósitos de nossa feliz "Academia" eram menos infantis que os daquelas mais respeitáveis que viria a conhecer doravante (EINSTEIN, tradução livre do excerto acima em inglês)

Robson (2005, p.59) também se refere a este episódio da seguinte maneira:

Décadas mais tarde, já então um acadêmico laureado, Einstein lembrou a Academia Olympia em uma carta para Solovine como algo "muito menos infantil do que aquelas respeitáveis que vim a conhecer depois".

Esta lição nos parece muito importante. Uma livre associação de jovens inteligentíssimos e amantes genuínos do saber pode perfeitamente assumir com naturalidade um compromisso muito mais genuíno com o conhecimento do que respeitáveis academias formais as quais, embora compostas por membros de valor intelectual, são inevitavelmente regidas e mediadas por muitos expedientes políticos de escolha de seus membros. Tudo isso pode ser refletido pelos estudantes e colocar este ponto para a discussão entre os estudantes tem interesse educacional.

Ainda sobre a Academia Olympia, Abraham Pais (PAIS, 1982) comenta:

Já próximo dos setenta anos, Einstein recordaria os dias "em que geríamos a nossa feliz *academia*, que, apesar de tudo, era mens pueril do que outras muito respeitáveis que viria a conhecer de perto". A melhor descrição da Academia é feita por Solovine, que recorda que os membros também liam Spinoza, Hume, Mach, Poincaré, Sófocles, Racine e Cervantes (PAIS, 1982, nota de rodapé, p. 52)

Não seria hora de questionar os nossos estudantes acostumados a mensagens curtas de whatsapp, correio eletrônico e outras mídias se essa lição é realmente importante?

Em outras palavras, poderíamos perguntar:

Ler autores como Spinoza, Hume, Mach, Poincaré, Sófocles, Racine, Cervantes, entre outros mais a depender de escolha pessoal de cada um, deve constituir em algo a ser seriamente estimulado?

O maior e mais longínquo amigo de Einstein, apesar de não fazer parte da Academia Olympia, foi Michele Besso, seis anos mais velho, um homem inteligente, carismático e que se dava muito bem com Einstein. Uma amizade que começou num evento musical no primeiro ano de seus estudos em Zurique, e que perduraria até a morte de Besso, apenas um mês antes da morte do próprio Einstein.

Por ser engenheiro mecânico tinha conhecimento de Física, o que permitia que Albert expusesse suas ideias em inúmeros diálogos, um dos quais teria colaborado para um lampejo de Einstein sobre a questão do tempo na elaboração da teoria da relatividade, o que rendeu, inclusive, um agradecimento ao amigo na publicação desse trabalho, pelas “muitas sugestões valiosas”, nas palavras de Einstein. De certo, um fato incomum, pois em suas publicações era raro uma menção a algum cientista.

Muitos estudiosos e pesquisadores da vida de Einstein tentam reunir características da sua personalidade que justifiquem tanta originalidade e tanto pioneirismo científico.

Algumas delas já foram citadas no presente trabalho, mas a sua intuição e seu inconformismo aliado à incrível capacidade de se debruçar sobre um mesmo assunto por horas a fio, o tempo que fosse necessário, foram certamente determinantes para o seu brilhantismo. A sua independência de ideias e de pensamento científico, sem herdar tendências de seus contemporâneos nos temas em estudo, contribuiu para o seu inconformismo com os pressupostos tidos como incontestáveis, os tabus científicos que permeavam o ambiente acadêmico.

Como exemplo disso, podemos citar a grandeza tempo, que era tida como algo absoluto, que não dependia do referencial adotado para se medir um mesmo evento, fato contestado por Einstein, que deu ao tempo um status de grandeza

dependente do referencial adotado, naquilo que ficou conhecido como dilatação do tempo, aspecto muito importante da teoria da relatividade restrita.

Essa ousadia e intuição no trato das teorias científicas consistiram em um diferencial de Einstein em relação à esmagadora maioria dos cientistas. Antes da teoria da relatividade, dois físicos, um irlandês George Fitzgerald e outro holandês Hendrik Lorentz, chegaram muito perto de desenvolver a sua própria teoria da relatividade, mas, não tendo a independência do pensamento científico de Einstein, não conseguiram livrar-se de condições pré-estabelecidas, como a existência do éter, o que os impediram de concluir a teoria, como o fez Albert Einstein.

Um físico do gabarito de Einstein necessitava de conhecimentos de uma matemática avançada e certamente os tinha. Mas é claro que ele apoiou-se em trabalhos de alguns grandes matemáticos, a citar, por exemplo, Henri Poincaré e Hermann Minkowski. Assim como FitzGerald e Lorentz, Poincaré também chegou perto de desenvolver a não simultaneidade do tempo antes de Einstein, o que terminou não acontecendo. Apesar do seu relativo isolamento, não há como negar a contribuição dos trabalhos de grandes matemáticos, o que não desmerece nem diminui a genialidade de Einstein.

Como já foi dito, do mesmo ano em que lança a Teoria da Relatividade, 1905, Einstein penetra de forma absolutamente significativa no universo da Física Quântica, iniciada 5 anos antes pelo físico e amigo Max Planck, 20 anos mais velho que Einstein, por quem manteve uma grande admiração apesar das divergências no âmbito científico e político.

O embarque de Einstein na teoria quântica foi motivado pelos polêmicos resultados experimentais do chamado efeito fotoelétrico, onde as previsões da Física Clássica vigente, destoavam completamente de tais resultados. Einstein, apropriando-se das ideias de quantização de energia adotadas por Planck, consegue com propriedade solucionar o problema, criando uma explicação teórica compatível com o resultado experimental. Mais uma grande sacada de Einstein que passa a ser protagonista dos linhas teóricas que formavam a recente Ciência do sec. XX, a Física Relativística e a Física Quântica.

Na próxima seção desse trabalho, trataremos do conteúdo das aulas sobre a Teoria da Relatividade Restrita, a explicação do efeito fotoelétrico à luz da Teoria Quântica e a Teoria da Relatividade Geral. Como as aulas serão ministradas para alunos do Ensino Médio, os dois primeiros assuntos terão uma ênfase maior, por

exigirem recursos matemáticos cabíveis para essa fase escolar, enquanto que a Relatividade Geral será exposta de forma mais genérica, tamanha a complexidade da matemática envolvida.

Muito mais do que a inserção de Einstein na Teoria Quântica, a Relatividade teve uma repercussão maior e mais controversa, ganhando admiradores e opositores. Um dos admiradores e entusiastas foi Planck, professor de Física da universidade de Berlim, um dos principais físicos teóricos da Alemanha. Planck (1909 apud ROBSON et al. 2005, p.66), disse sobre a relatividade:

Em matéria de ousadia, ela provavelmente ultrapassa tudo o que já foi conquistado até agora na ciência natural especulativa. Produziu uma revolução em nossa imagem física do mundo, que, em extensão e profundidade, somente pode ser comparada àquela produzida pela apresentação do sistema de mundo de Copérnico.

Mas existiram também opositores ferrenhos à Teoria da Relatividade. O primeiro deles provavelmente foi Walter Kaufmann, físico de muito prestígio que estava naquela época acelerando elétrons do decaimento do elemento Rádio, para analisar o aumento da energia desses elétrons em velocidades muito altas, algo previsto e calculado pela Teoria da Relatividade.

Segundo Kaufmann os resultados não seriam compatíveis com as previsões de Einstein, o que deixaram alguns cientistas em dúvida sobre a validade dessa teoria. Essa não foi a primeira e nem a última ocasião em que tentaram se contrapor às teorias einsteinianas, mas Einstein tinha tanta segurança e confiança em suas teorias, que resistia firme e não recuava diante dessas aparentes oposições.

Na grande maioria dos casos concluía-se posteriormente que ele estava certo, pois as falhas estavam nos experimentos cujos falsos resultados divergiam de sua teoria. A autoconfiança mostrava-se como mais uma faceta de sua personalidade. Segundo Robson et al. (2005, p.130), disse Einstein no prefácio de sua biografia escrita por Philipp Frank em 1942:

Nunca entendi porque a teoria da relatividade, com seus conceitos e problemas tão distantes da vida prática, tem encontrado por tanto tempo uma ressonância tão acalorada, e até mesmo apaixonada, entre vários círculos públicos. Até hoje, não tive uma resposta verdadeiramente convincente para esta pergunta.

Antes do surgimento da Física Moderna, no início do século XX, era corrente entre os cientistas a ideia de que o espaço era preenchido por um meio contínuo

chamado éter, meio elástico necessário para a propagação da luz e das ondas de rádio, assim como as ondas sonoras necessitam de um meio elástico para se propagar.

Os físicos da época tentavam desenvolver suas teorias pressupondo a existência desse éter, apesar dos experimentos com a luz não detectarem a existência desse misterioso meio. Porém, provavelmente Einstein tenha sido o único físico que teve a audácia de ignorar a existência do éter, e desenvolveu a Relatividade sem necessitar do pressuposto da existência desse meio.

Em 1921, 16 anos depois da publicação da relatividade restrita, o presidente da Sociedade Americana de Física, Dayton Miller, teria provado a existência do éter, mais uma tentativa de derrubar a teoria de Einstein, mas que teria sido logo refutada. Mais uma vez a genialidade do desenvolvimento teórico de Einstein se sobrepunha aos frustrados resultados experimentais.

A quebra de paradigmas trazida pela Teoria da Relatividade não rendeu reconhecimento imediato no mundo acadêmico a Einstein, nem recompensas financeiras. Só em 1906, ele foi promovido no Escritório de Patentes de especialista técnico de terceira para segunda classe, por ter obtido seu doutorado em Zurique.

Em 1907, Einstein tentou ingressar na universidade de Berna, como *Privatdozent* apresentando seus outros trabalhos, e não o da sua tese de doutorado que curiosamente era o menos importante. Mais um não para a sua coleção, vindo de velhos professores que rejeitavam ou pelo menos desconfiavam das supostas mudanças estruturantes na Física trazidas por aquele jovem cientista.

Finalmente em 1909, Einstein é convidado para trabalhar como professor de Física Teórica na universidade de Zurique, deixando o escritório de patentes de Berna. A Teoria da Relatividade já estava bastante disseminada, porém só a partir desse ano seu nome passa a ser mais reconhecido e respeitado dentro do meio acadêmico. Logo depois foi convidado para um encontro de cientistas alemães em Salzburg e recebeu seu primeiro grau honorário em Genebra com apenas 30 anos.

Em 1911, passou a ser professor catedrático em Praga, mas no ano seguinte voltou para Zurique assumindo essa mesma patente como professor. Mileva não se adaptou à vida em Praga, sofrendo frequentes crises de melancolia e complicando ainda mais sua relação com Albert.

Naquela mesma época, Einstein visitou sua família em Berlim e teve contato com uma prima que não via há muitos anos, de nome Elsa, uma mulher divorciada

com duas filhas e com quem Einstein flertou e passou a ter um caso amoroso. Albert conhecia sua prima desde criança e nos tempos de jovens estudantes eles pareciam seguir caminhos ideológicos bem distintos.

Enquanto Einstein personificava a cria do proletariado alemão, Elsa seguia a cartilha burguesa e ao contrário do seu improvável futuro esposo nunca demonstrou o menor interesse por Ciência. Elsa foi sua fiel companheira nos anos de fama e muitas viagens de Einstein, deliciando-se com os holofotes das câmeras e com o glamour proporcionado pelo prestígio de seu marido. Tolerando os casos amorosos de Einstein, assim viveram juntos até sua morte em 1936.

Ainda em Praga, participou do congresso de Solvay, onde Einstein dividiu o mesmo espaço com os mais importantes cientistas do mundo, como Planck, Lorentz, Poincaré, Marie Curie, Ernest Rutherford e outros. Em 1914, transferiu-se da Suíça para Berlim, na Alemanha, onde passou a ser membro da Academia Prussiana e a se dedicar exclusivamente à pesquisa científica.

Em Berlim, continuou o romance com sua prima, o que gerou boatos na cidade até que chegou ao conhecimento de Mileva. A partir daí o casamento tornou-se insustentável, mas Mileva negava-se a dar o divórcio sob o pretexto de que ele abandonaria seus filhos, deixaria de lhes dar atenção que já era escassa mesmo morando na mesma casa, devido a devoção obsessiva de Einstein pelas suas teorias.

Segundo o documentário Genius Albert chegou a propor um acordo com condições absurdas, como a de obrigar Mileva a se reportar ao marido para o estritamente necessário e não importuná-lo sob nenhuma hipótese quando ele estivesse trabalhando em casa. Em princípio, Mileva aceitou as condições, mas não suportou muito tempo e terminou abandonando a casa e indo embora com as crianças para Zurique, o que trouxe ao mesmo tempo um alívio para Einstein mas também a tristeza de ficar longe dos filhos, com quem passaria a ter pouquíssimos contatos, razão pela qual culpava-se, principalmente, depois que seu primeiro filho foi internado num hospital psiquiátrico.

Ainda segundo o documentário, com a saída de Mileva, Albert e Elsa assumem definitivamente a relação mas Mileva continuou negando o divórcio, tendo-o cedido muitos anos depois; numa audiência perante um juiz onde teve que afirmar que foi adúltero, Einstein acabou perdendo o direito de pedir a custódia dos filhos, tendo que pagar, a partir de então, uma alta quantia em dinheiro anualmente,

além do valor integral da premiação do provável Nobel de Física que viesse a receber.

A relação de Einstein com seus filhos não chegou a ser litigiosa, apesar de algumas brigas com o seu filho mais velho Hans Albert, mas também esteve longe de ser harmoniosa. Depois da separação Mileva ficou com seus filhos, mas Einstein não os abandonou, mostrando-se dentro do possível solícito e prestativo. Hans seguiu carreira de engenheiro hidráulico, contra a vontade de Einstein que queria que seu filho seguisse sua carreira de cientista teórico, fato que gerou uma calorosa discussão entre eles e o que fez Einstein prometer nunca mais o encontrar.

Com o tempo, seu filho foi ganhando reputação internacional e com a intermediação de Mileva, eles terminaram reatando. Outro conflito viria a acontecer anos depois quando Einstein desaprovou a ideia de Hans de se casar, da mesma forma como os pais de Einstein haviam feito anos atrás. Quando seu pai já estava nos Estados Unidos, fugido da perseguição nazista, Hans também emigrou para esse país, porém em Berkeley, na Califórnia e não em Princeton, onde Einstein estabeleceu-se. Estavam no mesmo país, mas mantinham a uma certa distância, o que parecia ser cômodo para os dois.

Seu segundo filho, Eduard, teve uma trajetória melancólica e trágica. Ainda muito jovem parecia indicar que havia herdado a genialidade do pai, porém o desfecho de sua história de vida em nada pareceu com a de Einstein. Encantou-se pela psiquiatria e pelas ideias do pai da psicanálise Sigmund Freud, com quem Einstein chegou a trocar algumas ideias mas com muita desconfiança. Foi estudar psiquiatria em Zurique, mas depois de algum tempo entrou em profunda depressão e começou a ter uma série de crises nervosas.

Em 1932, foi internado pela primeira de uma série de vezes numa instituição doentes mentais, com um diagnóstico de esquizofrenia. Apesar de pagar seu tratamento, sob protesto de seus amigos mais próximos, Einstein abandonou seu filho, tendo-o visitado apenas uma vez antes de deixar a Europa para se exilar nos Estados Unidos, em 1933. Einstein associava a doença de Eduard a uma herança materna, sem esperança de qualquer evolução da sua patologia. Mais uma vez se fazia presente o ceticismo e o determinismo de Einstein, que em certa medida, embaraçou sua trajetória de vida.

Permanecendo na instituição onde fora internado, Eduard morreu 10 anos depois de seu pai. Paradoxalmente, Einstein foi defensor de grandes causas

humanitárias, como veremos posteriormente, e ao mesmo tempo teve uma enorme dificuldade de lidar com seus filhos. Sobre esta questão, reforça Robson et al. (2005, p. 147):

Como pode Einstein ter tratado seus filhos de forma tão distante e ao mesmo tempo ser acessível a milhares de pessoas que ele não conhecia? Parece, em última análise, que Einstein se importava mais com a humanidade do que com os seres humanos individuais.

3.3. A Relatividade Geral e o sucesso de Einstein

Em 1916, quase 11 anos depois de publicar a Teoria da Relatividade Einstein publica a generalização desse trabalho, o que viria a ser conhecida como a Relatividade Geral, muito mais ampla que a anterior e que reduzia-se à Relatividade Restrita para o caso dos corpos em movimento retilíneo uniforme.

Era latente a necessidade de Einstein ampliar sua teoria para referenciais acelerados, já que a Relatividade Restrita era válida apenas para referenciais inerciais, ou seja, que estivessem em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. A parte matemática dessa nova teoria teve a ajuda luxuosa de dois grandes matemáticos da época, Hermann Minkowski e Marcel Grossmann. Sem anular a Teoria da Gravitação Universal de Isaac Newton, publicada três séculos antes, a Relatividade Geral trouxe um novo olhar para a gravidade, mais sofisticado, mais amplo e mais preciso.

Einstein introduziu uma quarta dimensão, o tempo, e concluiu que a origem da gravidade de grandes massas como planetas e estrelas seria a deformação do espaço-tempo ao seu redor que atrairiam os corpos presentes nessa região de atuação gravitacional, contrapondo-se à ação gravitacional à distância de Newton. Esse espaço-tempo curvo foi previsto e demonstrado matematicamente e geometricamente.

Outro fato inusitado trazido pela relatividade Geral foi a ação gravitacional sobre a luz prevista e demonstrada por Einstein, sem contudo nunca antes ter sido comprovada. Esse fato não foi previsto por Newton em sua famosa teoria da gravitação universal. O ilustre físico inglês entendia que um corpo teria que ter massa para sofrer uma ação gravitacional e como a luz não tem massa, estava

isenta dessa ação. Einstein estava certo, pois alguns anos depois, essa suposta ação gravitacional sobre a luz foi comprovada.

Para não cometermos anacronismos cabe lembrar que esses dois físicos, considerados os maiores da história, viveram em tempos diferentes, num hiato de quase quatro séculos. A Teoria da Relatividade Geral permitia o cálculo do desvio sofrido pela luz ao passar nas proximidades de uma estrela, devido a ação de um gigantesco campo gravitacional.

Mas, como de costume, a experiência que poderia validar ou não, a previsão einsteiniana só veio depois, mas precisamente em 29 de maio de 1919, no advento de um eclipse solar visível na África oriental e no Brasil.

No intuito de saber se Einstein estava certo, um grupo de cientistas liderados pelo astrônomo Arthur Eddington, dividiu-se para medir no momento do eclipse o suposto desvio sofrido pela luz proveniente de uma estrela, que antes de chegar ao nosso planeta passava próximo ao sol.

Essa medição só poderia ser feita na hora do eclipse, pois com o sol encoberto, já que a lua interpõe-se entre a terra e o sol, a luminosidade solar não ofuscaria a luz das estrelas projetada na Terra.

Na África, a experiência não foi bem sucedida porque estava nublado, mas no Brasil, mas precisamente em Sobral, no Ceará, o céu estava sem nuvens e foi possível efetuar a medição do pequeno ângulo de desvio sofrido pela luz, descrito na nova teoria de Einstein. Foi simbolicamente o fato comprobatório da Relatividade Geral e que rendeu credibilidade e prestígio para Albert Einstein.

Vale salientar um fato que trazido pelo documentário Genius, de que poucos meses após a divulgação da Teoria Relatividade Geral houve um eclipse solar e Einstein sabia que era a oportunidade de comprovar sua teoria.

Para ajudar nessa corrida contra o tempo, Planck recruta um jovem astrônomo chamado Erwin Freundlich que se propõe a excursionar para a região da Criméia, na Rússia, para fazer as medições no momento do eclipse. Einstein reúne-se com as autoridades da academia prussiana como Planck, Haber e Lenard, para angariar fundos para a excursão à Criméia.

Porém dentro desse grupo de cientistas tinham alguns poucos opositoristas às investidas de Einstein, em especial Lenard que tentou impedir que o dinheiro fosse liberado e ainda perseguiria Albert por muitos anos.

Mas como também havia aqueles que o apoiavam, como Planck e Haber, essa disputa política terminou com a liberação de apenas um terço do valor pedido por Einstein. Então Elsa, que tinha bom trânsito na elite de Berlim conseguiu promover um encontro de Einstein com um grande industrial, Gustav Kraupp, que financiava a Academia Prussiana e que comprou a ideia do ousado cientista, financiando o valor restante.

Contudo, o desfecho dessa primeira tentativa de comprovar a Relatividade Geral foi trágico, pois no mesmo dia em que Freundlich pegou o trem com sua equipe técnica, a Alemanha declarou guerra à Rússia, levando à captura dos passageiros alemães do trem ao entrar em solo russo. Para agravar a situação, como a equipe técnica levava, entre outros equipamentos, máquinas fotográficas, os russos julgaram que aqueles alemães eram espiões a serviço do governo alemão.

Ao saber que a Alemanha havia declarado guerra e sem receber notícias de Freundlich, Einstein ficou desesperado, e com a ajuda de cientistas renomados recorreu a mais alta cúpula da diplomacia alemã para tentar liberar Erwin e seus companheiros do cárcere, onde foram confinados e torturados. Para alívio de Einstein todos foram soltos e extraditados de volta para a Alemanha. Portanto, o sonho de comprovar sua teoria ficou adiado alguns anos, até o próximo eclipse de 1929.

Ao receber a notícia da confirmação da curvatura da luz, Einstein teria comentado num diálogo com uma estudante de doutorado que o acompanhava:

Todo o tempo, eu sabia que a teoria estava correta.” “E se o resultado tivesse sido duvidoso ou contrário à sua teoria?”, perguntou a moça. “Nesse caso, teria sentido pena de Deus, porque a teoria está correta. (EINSTEIN, [s.d] apud ROBSON et al., 2005, p.76)

A frase pode soar prepotente e arrogante, mas essas características não faziam parte da personalidade de Einstein. Segundo os especialistas no assunto, essas palavras só evidenciariam a imensa confiança que ele tinha em se próprio.

A confirmação plena da Teoria da Relatividade Geral levou bastante tempo. As previsões de Einstein foram sendo comprovadas ao longo de décadas, como por exemplo, a previsão de que a luz advinda de estrelas distantes que chegaria à Terra, sofreria um efeito Doppler relativístico chamado desvio para o vermelho.

O efeito Doppler estabelece que se um detector registrar a frequência da luz de uma estrela azul que atinge a Terra, como sendo correspondente à frequência da

luz vermelha, que é menor do que o da luz azul, essa diferença de frequência ($f_{\text{aparente}} < f_{\text{real}}$) denota que a fonte (estrela) e o observador (Terra) estão em movimento relativo de afastamento, o que corroboraria com a ideia de que o universo ainda estaria em expansão. Esse desvio para o vermelho foi observado apenas no início da década de 1960.

Mesmo no séc. XXI, mais de 60 anos depois da sua morte, o legado e o prestígio de Einstein ainda permanecem vivos. Uma prova disso é que a única entidade física que consta na Teoria da Relatividade Geral que ainda não tinha sido detectada experimentalmente, ou seja, sequer sabia-se de sua real existência, foram as ondas gravitacionais descritas em seu trabalho magistral.

Em busca dessas ondas, o governo americano investiu lançando ao espaço a Gravity Probe B (Sonda Gravitacional B) levando giroscópios de alta precisão para tentar detectar mínimas deformações gravitacionais na textura do espaço causadas pela Terra, previstas por Einstein e chamadas ondas gravitacionais. Em 2015, incrivelmente 100 anos após terem sido descritas por Einstein essas ondas foram finalmente detectadas. O maior físico da história mais uma vez estava certo.

Einstein ganhou fama de uma grande estrela, conhecido e famoso em muitos outros segmentos da sociedade, especialmente na Europa e nos Estados Unidos da América.

Vários acontecimentos associados à figura de Einstein tomavam proporções acima do normal. Em 10 de janeiro de 1929, seu amigo Max Planck apresentou em seu nome o artigo científico intitulado “On the unified field theory” (Sobre a teoria do campo unificado) à Academia Prussiana de Berlim. Se fosse qualquer outro cientista, tal fato não despertaria grandes atenções, mas tratava-se de Einstein, e depois da teoria da relatividade tudo que vinha desse físico causava um verdadeiro frenesi no mundo da imprensa, que especulava sobre a possibilidade de Einstein ter descoberto o ‘enigma do universo’.

No dia 30 do mesmo mês foi lançado o manuscrito de seis páginas referente a esse trabalho, e nesses 20 dias entre a apresentação e o lançamento, a Academia decidiu aumentar a impressão para mil cópias devido às especulações da imprensa, o que não era nada comum.

A repercussão foi tamanha, que as seis páginas do artigo foram coladas lado a lado no vidro de uma loja de departamentos Selfridges, em Londres, que chamavam a atenção dos clientes dos transeuntes que passavam por perto, e que

obviamente não entendiam absolutamente nada. Mas isso parecia não ter importância, o que interessava era que o sujeito estava presenciando *in loco* uma obra de um gênio.

Outro fato que representava bem a popularidade de Einstein foi quando ele e sua esposa foram convidados por Charlie Chaplin para o lançamento de seu filme *City of Lights* (Cidade das Luzes), em Los Angeles, em 1931. Ao adentrar no cinema, sua presença causou um furor na multidão que se levantou de suas poltronas para reverenciar o grande físico, contra a qual a polícia chegou a ameaçar utilizar gás lacrimogênio para controlar a confusão.

Em frase célebre, Chaplin respondeu à Einstein que o interpelou sobre o frenesi da multidão: “Eles me saúdam porque me entendem, e eles o saúdam porque não o entendem”. (CHAPLIN, 1931, apud ROBSON et al., 2005, p.131)

Muitos estudiosos de Einstein dizem que sua fama começa a se intensificar depois da divulgação do resultado das experiências realizadas no Brasil e na África a respeito da deflexão da luz observada no dia do eclipse confirmando a ação da gravidade sobre a luz descrita na teoria da relatividade. Esses resultados foram apresentados no dia 06 de novembro de 1919, no encontro conjunto da Royal Society (Sociedade Real) e da Royal Astronomical Society (Sociedade Astronômica Real), lotada com os maiores nomes da Física e da Astronomia. Sobre isso, diz J.J.Thomson, descobridor do elétron e presidente da Real Sociedade (THOMSON [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.133):

Esse resultado não é um resultado isolado; é parte de um continente inteiro de ideias... É o resultado mais importante obtido em conexão com a gravitação desde a época de Newton, e é apropriado que seja anunciado em um encontro da sociedade que é tão próxima a ele.. Se for mantido que o raciocínio de Einstein está correto... Então, este é um dos maiores feitos do pensamento humano.

Entre os físicos do mais alto nível de abstração e entre os matemáticos de grande monta, era unânime a ideia de que a relatividade era extremamente complexa e de quase impossível compreensão. Era normal que alguém capaz de criar uma teoria com tal complexidade suscitasse tamanha admiração. Eddington, astrônomo que esteve a frente da excursão para o Brasil e à África era considerado um dos poucos a supostamente compreender a Relatividade. Ao final do encontro na Real Sociedade, outro astrônomo o teria perguntado como ele sentia-se em ser

uma das três pessoas que compreendiam a Relatividade. Depois de um tempo em silêncio, ele respondeu de forma irônica que estava pensando quem seria a terceira pessoa.

Toda essa empolgação no mundo científico irradiou-se à grande imprensa, em especial quando passou a ser manchete do muito influente *The Times*, de Londres e posteriormente do *The New York Times*, de Nova Iorque, quando a fama de Einstein atravessou o atlântico e chegou aos Estados Unidos, onde foi morar anos depois.

Voltando à comunidade científica, entre os físicos nem todos rendiam-se à relatividade de Einstein, mesmo depois do anúncio público dos resultados experimentais em 1920. Tanto nos Estados Unidos como na Europa, céticos não entendiam e nem acreditavam na Relatividade, chegando alguns a fazer comentários hostis a Einstein. Nos Estados Unidos esses comentários que chegaram ao público só serviram para aguçar a curiosidade das pessoas e aumentar a fama de Einstein.

Em 1921, na ocasião da sua primeira visita ao território americano, uma apresentação de Einstein no Museu Americano de História Natural (*American Museum of Natural History*), causou uma grande confusão, pois uma multidão amontoou-se na entrada do museu, que só foi contornada com a chegada da polícia.

Apesar da complexidade e quase incompreensibilidade da Relatividade, Einstein tinha uma grande habilidade de se fazer entender ao grande público, com uma linguagem que fosse acessível, já que estava sempre sendo assediado pela imprensa em geral, que quando conseguia uma entrevista com o grande físico, adquiriam ótima matéria para publicação. Na busca de explicar didaticamente a quase inexplicável relatividade, ele costumava lançar mão de algumas metáforas, como a que tentava descrever a relatividade do tempo: “Uma hora sentado ao lado de uma bela moça em um banco de uma praça parece um minuto, mas um minuto sentado em cima de um forno quente parece uma hora”.(EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.136)

No entanto, esta complexidade da Teoria da Relatividade e a aparente inaplicabilidade, gerou um certo ceticismo dos cientistas e deixou o tema um tanto estagnado. Nas décadas seguintes a sua publicação, a Física Quântica e posteriormente a Mecânica Quântica pareciam seduzir muito mais o mundo científico.

Mas como já dissemos, Einstein não estava à parte da Quântica, pelo menos no seu início, afinal de contas a sua explicação para o problema do efeito fotoelétrico foi considerado um dos marcos iniciais da Física Quântica, alavancando esse novo rumo da Ciência, que se desenvolveria ainda muito mais nas décadas seguintes, ao contrário do que aconteceu com a Teoria da Relatividade.

Mas assim como a Teoria da Relatividade que surgia na mesma época, a Teoria Quântica era impactante demais para muitos físicos conservadores. Além de serem transgressoras, no caso da Relatividade, havia o agravante de ter sido formulada por um físico de descendência judia, numa época em que o antissemitismo só aumentava. Uma das evidências dessa retaliação foi a demora em conceder o prêmio Nobel de Física à Einstein, que provavelmente, só saiu por pressão da comunidade acadêmica em geral e pelo receio de que o importante prêmio caísse em descrédito.

E quando todos achavam que o Nobel viria pela Teoria da Relatividade, veio para o efeito fotoelétrico, e ainda sem qualquer evidência à quantização da luz, que dava um caráter corpuscular à luz, pois era visto com muita reticência. Teria dito recentemente o físico Andrew Whittaker ([s.d] apud ROBSON et al., 2005, p.83)

‘Aceita era a lei, não o fóton’ [...] ‘A concepção inicial de Einstein do fóton não foi senão um ato de gênio, e sua perseverança nela, a despeito das reações negativas e de suas próprias reservas quanto à relação entre os conceitos de onda e partícula, demonstrou enorme determinação e coragem’.

Na próxima seção, iremos abordar de forma mais detalhada a discussão sobre a natureza da luz, uma das mais longínquas divergências da história da ciência, que começou com Newton defendendo que a luz seria uma partícula, continuou com Christiaan Huygens defendendo que a luz seria uma onda e finalmente sendo praticamente concluída com Einstein que ironicamente defendia a dualidade da luz, ou seja, a luz como uma onda-partícula.

A relação de Einstein com a Quântica esteve longe de ser harmoniosa, especialmente na década de 1920, quando surge a Mecânica Quântica encabeçada por Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger, além de Niels Bohr, Max Born e Paul Dirac.

Um comentário escrito por Einstein numa carta à Max Born, descreve bem essa relação conflituosa com a mecânica quântica: (EINSTEIN, 1926, apud Robson et al., 2005, p.82)

A Mecânica Quântica é decerto impressionante. Uma voz interior, porém, me diz que ela ainda não é a palavra final. A teoria diz muito, mas não nos deixa mais próximos dos segredos do 'velho'. De toda maneira, estou convencido de que *Ele* não joga dados.

Essa nova fase da Teoria Quântica descrevia a realidade física em termos de probabilidade, indeterminação e incerteza. A ideia trazida por De Broglie sobre a difração de elétrons, dando um carácter corpuscular às partículas, a equação de Schödinger que permitia calcular a onda de probabilidade de encontrar um elétron num determinado ponto do espaço e em sequência o famoso Princípio da Incerteza de Heisenberg que postulava que quanto maior a certeza de se determinar a posição de uma partícula no espaço, menor a certeza da velocidade dessa partícula e vice-versa, foram demais para Einstein.

Podemos ainda enfatizar a análise quase filosófica de que uma partícula como um elétron não goza de uma realidade independente do mundo humano, podendo se comportar como uma partícula ou uma onda dependendo da forma como é medido e observado. A reação de Einstein foi de rejeição, colidindo frontalmente com a sua ideia de uma ciência determinística, provavelmente influenciada pela sua veia religiosa, que o fazia achar que Deus criou uma espécie de quebra-cabeças universal e que com o desenvolvimento das faculdades humanas o homem seria capaz de aos poucos ir montando suas peças.

Einstein viu-se mais uma vez isolado, só que desta feita numa circunstância diferente, pois as previsões da Mecânica Quântica foram sendo comprovadas, ganhando respeito e notoriedade até os dias atuais. Na década de 1930, Einstein terminou cedendo parcialmente à Mecânica Quântica, mas jamais a admitiu por completo, o que talvez tenha sido o grande motivador para a busca de uma teoria que unificasse a Física, a chamada Teoria de Tudo, perseguida por Einstein até a sua morte e por cientistas renomados, cuja busca continua até hoje.

Anos após a morte de Einstein, Max Born escreveu um livro intitulado *As Cartas de Einstein-Born*: (BORN [s.d.] apud Robson et al., 2005, p.95)

Ele via a Mecânica Quântica de hoje como um estágio intermediário entre a Física clássica tradicional e uma "Física do futuro" ainda completamente

desconhecida, baseada na teoria da relatividade geral, na qual – e isso ele considerável indispensável por questões filosóficas – os conceitos tradicionais de realidade física e determinismo voltariam à tona. Assim, ele não considerava a Mecânica Quântica estatística errada, mas incompleta.

Essa afirmação só reforça a ideia de que a rejeição à Mecânica Quântica seria a grande mola propulsora para Einstein mergulhar numa teoria que unificasse a gravidade relatada na Relatividade com o universo das partículas atômicas relatado na Quântica. Outras unificações já haviam sido ensaiadas em outras épocas na Ciência, como a gravitação de Newton que compilou a física do grande físico italiano Galileu Galilei com a astronomia do alemão Johannes Kepler, ou a eletricidade, o magnetismo e a ótica relacionados nas equações de Maxwell.

Por muitos anos, assim como Einstein muitos outros físicos de grande monta como Stephen Hawking e Leonard Mlodinow perseguiram uma “Teoria de Tudo”, mas todos com um desfecho frustrante, mesmo com o desenvolvimento nas últimas décadas da física das partículas subatômicas. Muitos esforços têm sido implementados nos últimos anos para desvendar a origem do universo, mistério sobre o qual muitos cientistas se debruçam, e cuja resposta talvez, abram as portas de uma teoria, se não “de tudo”, mas pelo menos mais geral do que temos hoje.

Mas há também uma corrente de cientistas que defende que prever e explicar todos os fenômenos da natureza, sejam eles quais forem, através de uma única linha teórica, seria como adentrar num enorme labirinto escuro, como remotíssimas possibilidades de alcançar a sua saída. Nesta mesma direção, afirma Bastos Filho (2005, Apêndice B, seção 6):

Estes cientistas argumentam que cada nível de descrição da realidade tem a sua autonomia própria e entre tais níveis existe uma descontinuidade de descrição, o que seria uma das múltiplas acepções em que pode ser compreendido o programa científico e filosófico da complexidade. Este é um programa que rivaliza com o programa unificador de Einstein e que, por mais estranho que isso possa parecer, também vem como um desdobramento importante das seminais ideias de Einstein. É como diríamos, inspirados em Pascal: o oposto de uma verdade profunda, também é uma verdade profunda e não apenas a sua estática antítese.

Einstein passou os últimos 30 anos de sua vida em busca dessa Teoria de Tudo, mais isolado do que nunca, cada vez mais fechado em si mesmo às voltas com seus intermináveis cálculos, com muitas especulações matemáticas, mas sem dados empíricos que pudessem apoiá-lo.

Ao contrário do que a maioria das pessoas defende, Einstein não era um físico puramente teórico, pois apesar de prever muitos fenômenos nunca antes observados, não se pode negar que, principalmente no início de sua carreira, fez-se valer de resultados experimentais para ousar e revelar ao mundo uma nova visão da Ciência.

O experimento de Michelson-Morley, que discutiremos na próxima seção foi um elemento inspirador para a Relatividade Restrita de 1905, apesar de alguns biógrafos levantarem dúvida, se realmente Einstein teria tido acesso aos resultados desse experimento.

É claro que nada disso desmerece a genialidade de Einstein, pois muitos tiveram acesso aos resultados desse experimento, mas ninguém chegou às suas conclusões, apesar de alguns terem chegado muito perto, antes mesmo de Einstein. É preciso ter uma certa precaução para o uso da palavra genialidade, mesmo quando estamos nos referindo a um físico do quilate de Albert Einstein. Não estamos negando que ele foi um gênio, mas como analisa o professor Jenner Bastos Filho, um especialista em Einstein e que se dedicou nas últimas décadas à Filosofia da Ciência, a genialidade não pode extrapolar a ideia do ser humano, com limitações que lhe são inerentes, com falhas, fraquezas e fracassos que o tornam tão comum como qualquer outra pessoa. Segundo Lucena & Bastos Filho (2017):

Eles não devem se constranger apenas por não se considerarem gênios, pois a ciência, sendo um empreendimento coletivo, social e histórico, os protagonismos são muitos e em diversas instâncias e, deste modo, não se reduzem apenas a gênios ou àqueles considerados como tais.

Muitos jovens, estudantes de Física, inspiram-se na ideia corrente que se tem de Einstein como físico teórico, que sempre desprezou os laboratórios, cujos insights viriam de revolucionários e “geniais” raciocínios matemáticos avançados. Do ponto de vista prático, essa visão tem desperdiçado o talento desses jovens que se veem mergulhados em abstrações que não os levam a lugar algum. Segundo Philip Anderson ([s.d.] apud ROBSON et al.2005, p. 122):

No meio século desde a sua morte, a aura mágica de Einstein criou um culto que, acredito, faz com que milhares de ótimos estudantes de física tomem uma decisão inicial completamente errada... E eles imaginam que, se conseguirem uma erudição profunda em matemática avançada, não

importa quão difícil ou esotérica ela seja, conseguirão chegar a novos insights em física.

O isolamento e o distanciamento da Mecânica Quântica rendeu críticas a Einstein, principalmente dos físicos quânticos que seguiam firme com a evolução da Teoria Quântica, nomes de muito prestígio e influência no mundo acadêmico. Apesar de ser muito respeitado no mundo científico, Einstein passou a ser taxado por alguns como um físico superado que insistia em trilhar um caminho infrutífero.

A crença no determinismo de todas as coisas foi a religião de Einstein, filosoficamente falando. Foi a obsessiva insistência nesse norte que o fez distanciar-se dos físicos quânticos, o que o levou a um isolamento quase melancólico. Nos anos 1990, o biógrafo científico de Einstein, Abraham Pais, observou que a fama científica de Einstein “permanecia intacta, senão maior, se ele tivesse ido pescar” – ou mais provavelmente velejar – após 1925. (PAIS [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.98).

3.4. Concepções de Einstein sobre Ciência, Religião e Filosofia

Historicamente, o homem com sua eterna busca pela explicação sobre a sua natureza de todas as coisas, sempre procurou essas respostas na divindade, na Filosofia e na Ciência. No mundo ocidental, a Europa foi o berço da Ciência e por ser fundamentalmente cristã, seria natural que os cientistas relacionassem suas descobertas científicas, suas Leis e Princípios, aos desígnios de Deus.

Apesar de muitos cientistas dos séculos XVI e XVII terem sido perseguidos pela Inquisição da Igreja Católica, tinham uma forte formação religiosa e na visão destes, a crença num Deus criador e arquiteto de tudo o universo, e a Ciência que começava a ter uma extraordinária evolução, não eram conflitantes entre si, muito pelo contrário, pareciam implícitos e correlacionados. Essa ideia perdurou pelo menos até a metade do século XIX, depois do qual, a ortodoxia das religiões cristã e judaica passaram a ser conflitantes com os novos rumos da Ciência.

A Teoria Quântica e a revolucionária Teoria da Evolução de Darwin pareciam pôr em cheque definitivo a já muito desgastada relação entre Ciência e Religião tamanha eram as divergências entre aquilo que uma e outra defendiam.

A Ciência começa a ignorar a Religião, surgem cientistas ateus, e até a ideia de um suposto Criador que tenha dado, num determinado instante, o pontapé inicial para a formação do universo, foi sendo abandonada.

Einstein não seguia qualquer doutrina religiosa, mas jamais abandonou a ideia de um mundo determinado e arquitetado por Deus, cujo papel do homem seria desvendar os mistérios dessa arquitetura.

Einstein se autodenominava um “não-crente profundamente religioso”, tendo oscilado ao longo dos anos entre uma posição anti-religiosa e uma posição mais amena com relação à religião.

Durante o período que trabalhou no Escritório de Patentes na Suíça, começou a ler a filosofia de Spinoza, revendo sua postura anti-religiosa, concebendo Deus como uma inteligência superior que se revela na harmonia da natureza, mas continuava a negar o Deus pessoal dos teólogos. Dizia estar imbuído de um sentimento religioso cósmico, seu grande motivador para a busca incessante por desvendar os mistérios da natureza, a despeito do que já tinham feito Kepler, Galileu e Newton.

Ele acreditava numa espécie de religião cósmica, em algo que pudesse unificar judeus, cristãos, budistas, vedas, islâmicos, sem que esses religiosos perdessem suas tradições, mas sem o autoritarismo de seus líderes religiosos. Uma religião que encarasse a figura do divino universalizado e não personificado, que não estaria vigiando individualmente as pessoas, para puni-las caso não atendessem o que estava escrito nos livros sagrados da religião às quais essas pessoas pertencessem. No seu último ano de vida, em sua casa, Einstein concedeu uma entrevista sobre religião, a William Hermanns, um ex diplomata alemão, que, como Einstein, fugiu da Alemanha nazista e foi tentar a vida nos Estados Unidos. Nessa entrevista, afirma Einstein ([s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.176)

Sobre Deus, não posso aceitar qualquer conceito baseado na autoridade da igreja. Desde que me entendo como gente, sempre me resenti da doutrinação em massa. Não acredito no medo da vida, no medo da morte, em fé cega. Não posso provar para você que não existe um Deus pessoal, mas, se eu fosse falar sobre Ele, estaria sendo um mentiroso. Não acredito no Deus da teologia, que recompensa o bem e pune o mal. Meu Deus criou leis que cuidam disso. Seu universo não é governado por desejos pessoais, mas por leis imutáveis.

Einstein tinha um pensamento muito lúcido e até próximo ao atual com relação ao eterno conflito entre ciência e religião, propondo que as discrepâncias

das manifestações científicas e religiosas poderiam ser evitadas. Para ele, a Ciência deveria ater-se ao que *é*, à determinação dos eventos e nas suas relações com outros para se buscar generalizações atemporais. Já a Religião deveria ater-se ao que *deve ser*, à busca do ser interior, que rege os pensamentos e as ações humanas e a integralidade harmoniosa dessas ações. Mas Einstein sabia que no mundo real sempre imperou o conflito entre Ciência e Religião pelo fato de uma adentrar em aspectos que deveriam ser tratados pela outra e vice versa. Segundo Einstein (1994, p. 29):

Um conflito surge, por exemplo, quando uma comunidade religiosa insiste na absoluta veracidade de todos os relatos registrados na bíblia. Isso significa uma intervenção da religião na esfera de ciência; é aí que se insere a luta da igreja contra as doutrinas de Galileu e Darwin. Por outro lado representantes da ciência têm constantemente tentado chagar a juízos fundamentais com respeito a valores e fins com base no método científico, pondo-se assim em oposição à religião.

Curiosamente, os novos rumos da Teoria Quântica, com o surgimento da Mecânica Quântica, num aspecto um tanto especulativo, parecia atrair algumas filosofias orientais oriundas especialmente da Índia. Uma das muitas passagens da vida de Einstein que revelava sua veia filosófica, foi o encontro com o líder espiritual Rabindranath Tagore, que assim como Ghandi era um ativista pela liberdade da Índia. Filósofo, poeta, letrista e que também gostava de discutir Ciência.

Tiveram uma longa conversa filosófica, onde ficou evidente as divergências entre os dois pensadores e que a visão de muitos físicos quânticos estava mais próximo de Tagore do que de Einstein. Em um desses diálogos, diziam eles, Einstein & Tagore ([s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.100):

‘Existem duas concepções distintas sobre a natureza do universo – o mundo como uma unidade dependente da humanidade, e o mundo como uma realidade independente do fator humano’, disse Einstein. Tagore retrucou: ‘Este mundo é um mundo humano – a visão dele também é a visão do homem científico. Portanto o mundo separado de nós não existe; é um mundo relativo, cuja realidade depende da nossa consciência’.

A Física das Possibilidades e Probabilidades da geração de físicos da Mecânica Quântica parecia aproximar-se filosoficamente mais das ideias de Tagore do que a física determinística de Einstein.

Talvez, a principal característica de personalidade de Einstein fosse a humildade, que sem dúvida o diferenciava da maioria dos grandes físicos, contemporâneos ou não, cujas vaidades e excentricidades os tornavam pessoas

insociáveis e de difícil acesso. Apesar de suas fortes convicções, Einstein sabia ouvir, respeitar e admirar seus correligionários.

Algo que também contribuiu para a disseminação da fama de Einstein em 1919, foi que coincidentemente, nesse mesmo ano em que ocorre a experiência do eclipse, encerra-se a primeira grande guerra mundial. Com isso o intercâmbio de Einstein com diferentes países tornou-se viável, inclusive países que estiveram em lado oposto na guerra, como a Inglaterra. Suas teorias passaram a ser conhecidas fora da Alemanha e Einstein foi convidado para importantes eventos acadêmicos e sociais em outros países, onde roubava as atenções e era muito bem recebido. Apesar de não compreender porque tornara-se tão famoso, nunca perdeu sua simplicidade e autenticidade e aproveitou seu prestígio e respeito para defender causas humanitárias, revelando o seu lado pacifista.

A partir do início da década de 1920, tornou-se evidente que Einstein extrapolou a esfera do “grande físico” (grifo nosso), penetrando numa seara de um grande pensador em várias esferas do conhecimento, como a política, a educação, os direitos humanos e até mesmo a Filosofia.

Mas apesar de sua grande empatia e solicitude, por opinar em muitas áreas das relações humanas com grande repercussão, sofreu represálias e forte rejeição de alguns setores da sociedade, especialmente na época do seu refúgio estadunidense, como veremos posteriormente.

Apesar de ter feito grandes amigos em sua trajetória, a vida pessoal de Einstein no que tange às relações familiares foi discreta, sem brilho e ao mesmo tempo confusa. Aos 50 anos de idade afirmou Einstein em *The World as I see it* (Como vejo o mundo): “Eu sou realmente um ‘viajante solitário’ e nunca pertenci de coração ao meu país, meu lar, meus amigos, ou até mesmo à minha família imediata”. (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.140).

Einstein nunca foi considerado um misógino, porém deixou fortes evidências de seu machismo, registrado inclusive em algumas de suas frases de efeito. Mesmo reconhecendo a inteligência de muitas mulheres, desconfiava da sensibilidade e da capacidade criativa delas, para, por exemplo, assumir o status de um físico teórico famoso. Mesmo Madame Curie (Marie Curie), a única cientista da história a ganhar o Prêmio Nobel em Física e Química e com quem Einstein construiu uma bela amizade, foi alvo de críticas de Einstein que proferiu frases como “Madame Crie nunca ouviu os pássaros cantar” ou, “Muito inteligente, mas tem a alma de um

arenque, o que significa que não possui o menor talento para as artes dos sentimentos”. (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.143). Biógrafos de Einstein dizem que ele flertou com muitas mulheres, com algumas das quais manteve casos amorosos.

Ao mesmo tempo em que clamava por justiça social, preferia o isolamento pessoal, e mesmo com pessoas muito próximas não conseguia mergulhar fundo nessas relações de amizade. Einstein fazia essa auto crítica, mas procurava algumas justificativas. O distanciamento do julgo familiar, em certa medida, justificava-se pela incessante devoção às suas teorias físicas e aos amplos problemas da humanidade que sempre o incomodaram. As alguras e problemas, intrínsecos ao convívio familiar eram encarados por ele como uma espécie de desvio de foco, um fator inibidor de sua inventividade.

Falando de sua vida pessoal no campo das ideias Einstein era um pacifista nato, rejeitava veementemente a guerra, jamais vestiu um uniforme militar e a única arma que possuiu foi uma espada exigida pelo protocolo imperial em praga, que ele tinha que portar na cerimônia de posse.

Acompanhou com muito pesar as duas grandes guerras, estando na Alemanha durante a primeira guerra e já exilado nos Estados Unidos na segunda guerra, mas só se tornaria de fato um ativista pela paz em escala mundial, apenas após à segunda guerra. Afirmou em *The World as I see it (Como Vejo o Mundo)* (Einstein 1930 apud ROBSON et al., 2005, p.156):

Heroísmo por obrigação, violência sem sentido, e todo absurdo repugnante que recebe o nome de patriotismo – quanto odeio tudo isso! Quão horrível e desprezível é a guerra para mim! Eu preferiria ter sido feito em pedaços a participar desse tipo de atividade. Tenho uma opinião sobre a raça humana elevada o bastante para me fazer acreditar que este fantasma deveria desaparecer há muito tempo, e que o senso das pessoas não seja corrompido por interesses comerciais e políticos que agem por meio das escolas e da imprensa.

Einstein sabia que dentro do próprio ambiente acadêmico, muitos cientistas pautavam suas ações por uma postura político-ideológica-social, como o comportamento ultra nacionalista de alguns colegas alemães que foi ganhando corpo até culminar no Nazismo e o antissemitismo também crescente. Uma evidência disso foi a criação de um manifesto, em 1914, já depois do início da primeira guerra mundial, assinado por 93 personagens dos mais variados segmentos, intitulado “Manifesto para o Mundo Culto”.

O conteúdo do manifesto já trazia evidentes sinais do nacionalismo que vinha se desenhando, uma defesa velada da soberania nacional com uma hipervalorização do militarismo, em detrimento de graves acusações de países oponentes. Einstein nega-se a assinar o documento, mas presencia a assinatura de amigos da Academia.

Na contramão desse processo Einstein assinou um contramanifesto criado por um médico alemão Georg Friedrich Nicolai, intitulado “Manifesto aos Europeus” que rejeitava o Manifesto das 93 assinaturas, mas não chegava a culpar a Alemanha pela guerra, apenas condenava esse conflito de grandes proporções, que ao seu final não haveria ganhadores, apenas países destruídos.

Esse último manifesto não teve boa adesão, pois só mais duas pessoas além de Einstein o assinou, sendo publicado apenas em 1917, e em Zurique, na Suíça. Seu autor foi duramente perseguido pelos ultranacionalistas alemães, que inclusive o proibiram de ensinar em 1920.

Dentro do meio acadêmico alemão havia uma recomendação de evitar a citação de pesquisadores ingleses, cujo país estava em lado oposto naquela guerra. É importante deixar claro que toda essa movimentação nacionalista era absolutamente voluntária; não havia pressão por parte do governo para que os cientistas alemães tivessem essa postura, ao contrário do que viria a acontecer com a Alemanha nazista de Hitler, que não admitia qualquer referência a cientistas de determinados países europeus, em especial aos físicos de origem judia, como Einstein.

Ainda no período da primeira grande guerra, muitos cientistas alemães conhecidos de Einstein estavam a serviço do governo alemão, à exceção do próprio Einstein. Trabalhavam em áreas que iam desde os serviços de meteorologia à indústria bélica, além da pesquisa e fabricação de armas químicas letais. Nesse cenário um nome a destacar foi o do químico Haber, antigo amigo de Einstein, que sintetizou amônia e hidrogênio, feito que lhe rendeu o Nobel de Química de 1918.

No início, a amônia foi usada apenas como matéria-prima para fabricar fertilizantes artificiais, mas posteriormente, Haber passou a ser o idealizador de verdadeiras armas químicas de destruição em massa com a sintetização de gases venenosos e letais. Teria supervisionado o primeiro ataque com armas químicas de que se tem conhecimento, contra os franceses, em Ypres, na Bélgica.

Em consequência, milhares de pessoas morreram ou ficaram com graves sequelas respiratórias. Apesar da amizade entre os dois, Einstein afastou-se de Haber por não aceitar o caminho que estava seguindo, tendo-o reencontrado e reatado com o amigo na ocasião da cerimônia do prêmio Nobel de Química.

Segundo o documentário *Genius*, a esposa de Haber não conseguiu conviver com a ideia de ter seu marido envolvido com tanta morte e destruição, chegando a suicidar-se na ocasião de uma homenagem do exército alemão à Haber. Entre as duas grandes guerras ele teria trabalhado secretamente para sintetizar novas armas químicas, com o uso de pesticidas, um deles o Zyklon B, usado no holocausto para matar milhões de judeus em câmaras de gás, nos temidos campos de concentração.

Contudo, faz-se necessário salientar que essa última contribuição de Haber ocorreu antes de se instituir o governo nazista de Hitler. Com o Nazismo, Haber, que era judeu, foi expulso da Alemanha, mas seu legado de armas químicas ficou naquele país, que o utilizou para a matança em massa de seus compatriotas judeus. Mergulhado no ostracismo e no esquecimento, Haber acabou morrendo de ataque cardíaco.

Parece óbvio que Einstein sabia da participação efetiva de seus amigos cientistas no desenvolvimento de tecnologia militar, a serviço do governo alemão durante a primeira guerra mundial, e apesar de discordar dessa postura, preferiu o silêncio ao embate, pelo menos naquele momento.

Debruçado que estava na Teoria da Relatividade ignorou a contribuição de mentes brilhantes para fomentar os horrores da guerra. Einstein não entendia como amigos e cientistas de grande monta como Planck e Nernst, que tiveram filhos mortos na guerra, defendiam a postura militar do governo alemão e um nacionalismo exacerbado que iria evoluir para uma Alemanha Nazista que o mundo e a própria Alemanha gostariam de esquecer.

Nesta mesma época, começava a surgir uma perigosa diferenciação entre o cientista judeu e o cientista ariano que compunham a Física alemã. Einstein começava a perceber retaliações de caráter étnico.

Um desses físicos alemães que se tornou um ferrenho opositor de Einstein foi Philip Lenard. Filiou-se ao partido nazista e foi um fiel escudeiro de Hitler até o final. No seu livro publicado em 1939, ele escreveu (LENARD [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.163): “Ao contrário do desejo obstinado pela verdade que existe entre os

cientistas arianos, o judeu não tem absolutamente qualquer compreensão da verdade”.

Em 1923, após uma notícia falsa em um jornal sobre uma viagem que Einstein teria feito à União Soviética, foi ameaçado de morte, provavelmente pelos ultranacionalistas, pois uma das características dos ideais nazistas que começavam a se desenhar, era a perseguição aos comunistas. Mas apesar de admirar as ideias socialistas Einstein nunca teve qualquer relação direta com o Comunismo.

Nos anos subsequentes nem mesmo o reconhecimento de Einstein como um grande físico era garantia de sua integridade física e moral, não só pelo obvio fato de Einstein ser judeu, mas também por ele nunca ceder às investidas segregadoras daqueles que defendiam os ideais nazistas, vindos inclusive de velhos amigos alemães do meio acadêmico, como Planck, que culminou no fim de uma longa amizade.

3.5. Os Estados Unidos, a bomba atômica e as causas humanitárias

No início dos anos 1930, o estado de perseguição aos judeus ganhou proporções ainda mais aterradoras, e a situação ficou insustentável para Einstein, que já profetizava o extermínio de seus irmãos judeus e a intenção de iniciar uma nova guerra mundial, arquitetado pela mente doentia e ultranacionalista de Hitler, que viria assumir como chanceler da Alemanha em 1933.

Einstein, antecipando-se aos fatos, em 1932, antes de Hitler tomar definitivamente o comando do país, faz com sua esposa Elsa uma nova viagem aos Estados Unidos, agora sem intenção de voltar. Demitiu-se da Academia Prussiana por correspondência e ao abandonar a Alemanha foi acusado de todas as formas, desde um desertor a um inimigo do país por fazer acusações caluniosas.

Depois da saída de Einstein, as ideias ultranacionalistas e a perseguição aos judeus só aumentaram, com eventos criados por agentes do governo e apoiado por certos setores da sociedade em que livros e publicações de autores judeus – inclusive Einstein – foram queimados em praça pública.

Antes de ir morar definitivamente, Einstein visitou os Estados Unidos duas vezes, em 1930 e 1931, ocasiões em que foi convidado por Millikan para visitar a Califórnia Institute of Technology (Instituto de Tecnologia da Califórnia), chamada Caltech. Em seus discursos, Einstein já dava sinais de sua visão crítica sobre muitas

questões que extrapolavam sua Física Teórica. Para muitos americanos, obviamente os mais conservadores, esses eram considerados discursos socialistas e encarados com uma certa preocupação, em especial por agentes da área de segurança nacional e até mesmo por entidades não governamentais de uma linha também conservadora.

Quando decidiu ir morar nos Estados Unidos, oficiais do Departamento de Estado do governo, do então presidente americano Herbert Hoover, tentaram impedir que Einstein tirasse um visto para entrar no país a menos que assinasse um documento que atestasse que ele não era comunista e nem anarquista.

Segundo o que relata o documentário *Genius*, para conseguir o visto para residir nos Estados Unidos, Einstein e Elsa foram exaustivamente interrogados, pelo General e Consul americano Raymond Geist, com perguntas que irritaram Einstein pelo teor especulativo, adentrando em sua intimidade, insinuando que ele seria o autor de frases politicamente subversivas e até uma suposta relação com o partido comunista.

Ao final de todo o interrogatório, a sinceridade e a simpatia de Einstein já haviam conquistado Geist, porém o visto foi negado pelo serviço secreto americano, chefiado por um agente linha dura, Edgar Hoover. A reação de Albert foi avassaladora, pois fazendo-se valer de seu grande prestígio, conseguiu uma reportagem no *New York times* em que dizia estar sendo perseguido pelo governo americano que negara seu visto.

Com isso, Edgar teve que recuar e liberar o visto, mas com a condição de que Einstein teria que assinar um documento que atestasse que ele não era comunista, o que foi prontamente negado pelo físico, deixando Geist em situação delicada. Mas, mesmo sem a assinatura, o Cônsul concedeu-lhe o visto contrariando a determinação de Hoover, tamanha consideração que passara a nutrir pelo físico.

Como gratidão ao feito honrado e corajoso de Geist, Einstein decidiu assinar o documento, mas pediu-lhe que reproduzisse essa ação para milhares de judeus que tentavam se refugiar nos Estados Unidos para escapar da perseguição nazista. De 1933 a 1939, Geist ajudou a salvar mais de 50 mil judeus alemães.

Porém, apesar de ser um órgão oficial, essa desconfiança baseava-se em declarações de movimentos não-oficiais de cunho ideológico, extremistas que defendiam teorias conspiratórias meramente especulativas, que se multiplicavam naquela época. Um desses movimentos se autodenominava, *Woman Patriot*

Corporation (Corporação Patriótica das Mulheres) que chegaram a declarar que “nem mesmo o próprio Stalin está afiliado a tantos grupos internacionais anarco-comunistas para promover uma revolução mundial e uma anarquia completa quanto Albert Einstein”(EINSTEIN 1932, apud ROBSON et al., 2005, p. 171-172).

Em princípio, Einstein achou que fosse uma brincadeira e, com seu peculiar senso de humor e sarcasmo chegou a declarar uma frase que foi prontamente publicada no *The New York Times*:

Mas não estariam completamente certas essas cidadãs alertas? Por que alguém deveria abrir a porta para uma pessoa que devora capitalistas cozidos com tanto apetite e gosto quanto o ogro Minotauro em Creta devorava virgens gregas sensuais?” (ROBSON, 2005, p. 172)

Essa ocasião foi antes de uma de suas viagens aos Estados Unidos, quando Einstein ainda morava na Alemanha. Ele só percebeu que não era uma brincadeira quando foi chamado, juntamente com Elsa para depor no consulado dos Estados Unidos. Isso o deixou furioso e Einstein ameaçou cancelar a viagem ao país, mas o governo americano recuou e concedeu o visto, pois sabia que a negativa a sua entrada no país seria péssimo para a imagem do governo, tamanha era a idolatria à figura do maior físico do mundo.

Não seria exagero dizer que Einstein, talvez, fosse o único cidadão do mundo a conseguir fazer declarações ditas socialistas em praça pública com grande repercussão dentro dos Estados Unidos, sem com isso sofrer retaliações significativas por parte dos órgãos oficiais. E é claro que tudo isso se devia ao seu enorme prestígio.

Segundo relatos do documentário *Genius*, um serviço de espionagem americano descobre que os cientistas alemães estão envolvidos num processo de enriquecimento de material radioativo o que poderia indicar a intenção de construir uma bomba atômica.

De posse dessas informações, cientistas americanos conseguiram convencer Einstein - apesar de uma resistência inicial - a escrever uma carta de próprio punho ao então presidente dos Estados Unidos, Roosevelt, alertando-o para o fato de que seus colegas cientistas que viviam na Alemanha, estariam engajados na confecção de um artefato nuclear de grande poder de destruição, a temida bomba atômica. Em pouco tempo, o presidente americano autoriza a criação do projeto Manhattan para a construção da bomba atômica, liderado por Oppenheimer, que também era judeu.

Na Alemanha, a pessoa que encabeçava esse projeto era o então jovem físico Werner Heisenberg. Um espião americano teve a incumbência de se infiltrar num evento acadêmico que houve em Zurique - onde Heisenberg era um dos palestrantes - para conhecê-lo pessoalmente e colher informações sobre a suposta intenção de construir a bomba e em que estágio poderia estar tal projeto.

Em caso afirmativo, o espião teria que matá-lo, porém a conversa não foi conclusiva e a missão de executá-lo não se concretizou. O mesmo documentário relata que Heisenberg, colocando suas reservas morais acima do seu patriotismo, teria boicotado sutilmente o projeto da bomba, não chegando a concluí-lo apesar de ter conhecimento físico suficiente para fazê-lo.

Em tempos de espionagem em alta, esse documentário, ainda relata que depois da morte de Elsa, que vinha apresentando um sério problema cardíaco, Einstein conheceu uma mulher de origem russa, muito bonita e atraente, com quem teve um caso e que seria, supostamente, uma espiã russa com a incumbência de vasculhar documentos secretos que pudessem revelar algo de interessante para o desenvolvimento científico da Rússia, país que iria travar nos anos subsequentes a chamada Guerra Fria, uma verdadeira corrida tecnológica com os Estados Unidos, nos ramos armamentista e espacial.

Porém, aconteceu aquilo que é proibido no mundo da espionagem, que foi a espiã se envolver emocionalmente com o espionado. Com isso, a missão foi abortada e a espiã voltou para sua terra natal, contrariando a vontade de Einstein que também havia se apaixonado pela bela jovem russa.

Apesar de seu espírito pacifista, o apoio de Einstein à criação de uma bomba atômica se devia única e exclusivamente ao medo de que os cientistas nazistas a criassem antes dos americanos. Se Einstein tivesse conhecimento do fracasso do projeto atômico alemão encabeçado por Heisenberg, certamente, teria retirado o seu apoio ao projeto americano da bomba atômica. Mas as ideias independentes de Einstein, muitas delas declaradas publicamente vão criar uma certa desconfiança de alguns agentes públicos, principalmente da área de segurança nacional americana.

É provável que essa desconfiança seja a explicação para o fato do exército americano com o apoio do FBI não ter dado a liberação de segurança para que Einstein fizesse parte do projeto Manhattan.

Segundo o que relata o documentário Genius o serviço secreto americano teria pedido uma ajuda à Einstein, extra-oficialmente, para resolver algumas

equações que auxiliariam na parte teórica do projeto da bomba americana. Em princípio, ele teria relutado, mas o receio que seus conterrâneos alemães chegassem na frente na construção da temida bomba atômica, o fez colaborar.

Quando a bomba americana ficou pronta, a Alemanha já tinha sido derrotada e Einstein foi orientado a escrever, mais uma vez de próprio punho, outra carta para o presidente Roosevelt, argumentando que não havia mais sentido fazer uso da bomba atômica na circunstância do insucesso do projeto da bomba dos cientistas alemães, além da derrota desse país.

Ainda segundo o documentário Genius, essa correspondência nunca chegou às mãos do presidente americano, devido ao seu falecimento. O então vice-presidente Truman, assumiu a presidência e em poucos dias de mandado, autorizou o lançamento de duas bombas sobre o Japão, país que estava do lado alemão e ainda resistia.

O serviço de inteligência militar americano, previa que o Japão poderia ainda resistir por uns dois anos até ser definitivamente derrotado, argumento usado pelo governo americano para justificar um dos fatos mais trágicos da humanidade no século XX, que foi o lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, matando nos primeiros minutos após o lançamento mais de 250 mil pessoas.

Historiadores afirmam que a verdadeira intenção do governo americano foi intimidar a União Soviética, que apesar de ter sido aliada na Segunda Guerra, seria sua grande rival nos anos da Guerra Fria, onde o mundo ficaria dividido entre países capitalistas apoiados pelos americanos e países comunistas apoiados pelos soviéticos.

Einstein teve uma boa receptividade e sentia-se bem nos Estados Unidos, até porque gozava de uma liberdade que definitivamente não teria em sua terra natal, pelos motivos já citados nesse trabalho. Em uma transmissão de rádio, em 1940, disse Einstein (1940 apud ROBSON et al. 2005, p.169):

Dando um desconto para as imperfeições humanas, eu sinto que na América o desenvolvimento do indivíduo e de sua criatividade é possível, o que é, para mim, o que há de mais valioso na vida... Em alguns países, homens não têm direitos políticos nem a oportunidade para um desenvolvimento intelectual livre. Mas, para a maior parte dos americanos, uma situação assim seria intolerável. Já se passaram muitas gerações nesse país desde que os homens eram sujeitos à necessidade humilhante de obediência inquestionável.

No entanto, os Estados Unidos estavam longe de ser um país que resguardasse rigorosamente todos os direitos civis. Especialmente em determinadas regiões americanas de um país heterogêneo pelo seu enorme tamanho, existia racismo contra negros e latinos, defesa de uma supremacia branca com um cunho religioso, principalmente vindo dos protestantes cristãos, e um governo soberbo que mantinha um autoritarismo disfarçado de libertário. Nos dias de hoje, governado pelo ultra conservador Donald Trump essas posturas estão em alta, tanto nos órgãos do governo quanto em determinada parcela da população americana.

Nos anos de 1930, Einstein foi discreto e cauteloso com suas defesas humanitárias. Porém nos anos de 1940, quando se tornou cidadão americano, e com o início da Guerra Fria depois do fim da segunda grande guerra, ele passou a apoiar com mais veemência grupos de causas humanitárias.

Portanto, a relação de Einstein com os Estados Unidos sempre foi ambivalente, pois oscilava entre a admiração e a crítica, a confiança e a desconfiança. No meio científico, apesar de seu enorme prestígio, o fato de ser judeu e defender a causa sionista⁵, trazia-lhe problemas, a despeito do que acontecia na sua terra natal Alemanha.

Em 1950, quando se deu o boom dos televisores, Einstein foi convidado por uma emissora de televisão, a NBC, para inaugurar um programa em que o físico seria a estrela a ser entrevistada. Foi gravado em sua casa, em Princeton, e teve um grande apelo popular, onde Einstein comentaria, entre outras coisas, a declaração do então presidente americano Truman, de que o país estaria envolvido num projeto para a construção de uma nova bomba, a de hidrogênio, muito mais poderosa do que a bomba atômica já conhecida.

Contrariando a opinião de muitos nacionalistas e conservadores americanos, Einstein foi duro e incisivamente contra esse projeto. Nas suas próprias palavras: “Se for bem-sucedido, o envenenamento radioativo da atmosfera e, portanto a aniquilação de qualquer forma de vida na face da Terra acabaram de se tornar tecnicamente possíveis”. (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON et al. 2005, p.166)

O conjunto dessas declarações, através de um meio de divulgação de massa, caiu como uma bomba para a opinião pública e principalmente para o governo

5 Causa Sionista: Segundo a Wikipédia é um movimento político que defende o direito à autodeterminação do povo judeu e à existência de um Estado nacional judaico independente e soberano no território onde existiu o antigo Reino de Israel. Extraído de: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sionismo>.

americano. Essas declarações renderam a abertura do chamado “arquivo Einstein”, um arquivo secreto que se tornou público no final dos anos 90, liderado pelo diretor do Federal Bureau of Investigation (Escritório Federal de Investigação), J. Edgar Hoover, que com a ajuda do FBI, vasculhou a vida pregressa de Einstein desde a década de 1930, inclusive as declarações da *Woman Patriot Corporation* sobre a participação de Einstein em movimentos anarco-comunistas.

Nessa mesma época, o *Immigration and Naturalization Service* (Serviço de Imigração e Naturalização) chegou a abrir uma investigação independente sobre a vida de Einstein, e dependendo do resultado dessas investigações poderia até culminar com a extradição do físico, mas que nunca veio a acontecer.

Os Estados Unidos vivia a fase do Marcatismo⁶, uma época de dura perseguição aos cidadãos ditos subversivos, por defender ideias supostamente comunistas, alguns dos quais inclusive, chegando a receber a pena de morte, dependendo da legislação penal do Estado da federação. Einstein de fato, defendia ideias que se aproximavam muito dos ideais socialistas.

A perseguição a Einstein, encabeçada por Hoover e pelo senador McCarthy, símbolo do Marcatismo, sempre foi sutil, de bastidores, mas nunca chegou às vias de fato. Providências mais drásticas de retaliação ao maior físico do mundo seria uma medida impopular e certamente provocaria protestos de um povo que o adorava, pelo seu carisma, pela sua autenticidade e pelo grande legado deixado para a Ciência. Mesmo com a saúde bastante comprometida, Einstein conseguia incomodar as autoridades americanas.

A despeito, por exemplo, em maio de 1953, Einstein escreveu uma carta para um professor de Nova York, William Frauenglass, que foi posteriormente publicada no *The New York Times*. Em suas palavras, (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON et al., 2005, p.175)

Os políticos reacionários conseguiram inculcar desconfiança de todos os esforços intelectuais no público, balançando um pavor externo ante seus olhos... O que a minoria de intelectuais deve fazer contra esse mal? Francamente, eu apenas consigo ver a forma revolucionária de não-cooperação, no sentido de Ghandi. Todo intelectual que for convocado para testemunhar perante uma dessas comissões, deve se recusar, isto é, deve estar preparado para ser preso e também para a ruína financeira, ou, em outras palavras, em sacrificar seu próprio bem-estar em nome do bem-estar

6 Marcatismo: política anticomunista criada na década de 1950 nos Estados Unidos pelo senador norte americano Joseph MacCarthy. Extraído de: <https://alunosonline.uol.com.br/historia/macartismo.html>

cultural de seu país... Se um número suficientemente grande de pessoas estiver pronta para dar esse passo crucial, serão bem-sucedidas. Senão, os intelectuais deste país não merecem mais do que a escravidão que se intenciona para eles.

Se alguém, que não fosse Einstein, fizesse uma declaração dessas naquela época, teria uma boa possibilidade de ser preso, pelo menos preventivamente, até que fossem concluídas as investigações sobre essa pessoa, que certamente teria a sua vida devassada.

Mas, em se tratando de Einstein, a consequência foi uma declaração do senador McCarthy, no mesmo jornal, que o chamou de “inimigo da América”, tendo recuado uma semana depois e mudado o termo para “americano desleal”. Só alguém com o prestígio de Einstein seria capaz de, mesmo sem reagir à declaração do senador, fazê-lo recuar nas palavras, apesar de toda a sua empáfia.

Einstein pode ser considerado um dos mais influentes ativistas pela causa sionista no mundo. Orgulhava-se de ser judeu, mas longe de ser um praticante da religião judaica, apesar de sua luta em prol do Sionismo, contra o Holocausto e apoio ao Estado de Israel. Einstein não concordava de forma alguma com alguns preceitos do Judaísmo, que colocava os judeus como os eleitos por Deus, em detrimento dos não judeus. Ser uma figura paradoxal fazia parte da personalidade de Einstein; defender o Sionismo sem ser um praticante do Judaísmo era um bom exemplo disso.

Portanto, o ativismo de Einstein com relação ao Judaísmo e ao Sionismo tinha uma conotação muito menos religiosa e muito mais política. Ao contrário de muitos judeus companheiros de Ciência de Einstein, não sentiram o menor orgulho de sua origem, chegando até a negar essa descendência ou fingindo que não o era, Einstein orgulhava-se de sua raiz judaica.

Ele defendeu a criação do Estado de Israel por achar que em nenhum lugar do mundo, os judeus seriam aceitos de maneira favorável, por não pertencerem à configuração étnica daquele ou de outro país. Na Alemanha e nos Estados Unidos, Einstein assistiu a perseguição aos seus irmãos judeus, fomentada pelo nacionalismo nesses países e em muitos outros mundo afora.

Apesar da sua importante contribuição na luta contra o antissemitismo, Einstein declarava-se um viajante solitário, não abria mão da liberdade e da independência, o que talvez explique o fato dele nunca ter aceito assumir um cargo de comando em entidades ou organizações envolvidas com essas questões de luta

humanitária. Deu sua contribuição pontual às inúmeras dessas organizações, mas sem se envolver profundamente com nenhuma delas. Contudo, a relação de Einstein com as autoridades judias, diretamente envolvidas com a defesa do Sionismo e do Judaísmo, nem sempre foi harmoniosa. A Universidade Hebraica, para quem Einstein teria angariado fundos para sua criação, teve como um de seus presidentes Judah Magnes, um rabino americano que estava notoriamente a serviço dos patrocinadores judeus da universidade, motivo pelo qual nomeava para cargos importantes, dentro da instituição, pessoas sem qualificação acadêmica, mas pertencentes às famílias influentes.

Einstein tinha isenção suficiente para saber que em muitos lugares no mundo, judeus detinham o poder econômico, e orientados pelos rabinos mais ortodoxos, mantinham um corporativismo, explorando e discriminando os que não tinham origem judaica. Mesmo sensível à perversa perseguição aos judeus mundo afora, por outro lado, Einstein reconhecia que os fundamentalistas da religião judaica discriminavam e segregavam aqueles que não pertenciam à sua religião.

Einstein tentou ajudar muitos físicos judeus que fugiram da Alemanha nazista, depois de 1933. E pela sua influência, chegou a tratar pessoalmente com o presidente Roosevelt sobre essa questão; mas ao contrário do que se possa imaginar, o governo americano demonstrava na prática mais atitudes antissemitas e anti-comunistas do que anti-nazistas, o que complicava a situação dos físicos refugiados nos Estados Unidos, mesmo os já renomados.

Gestapo⁷ e Federal Bureau of Investigation (FBI) mantinham relações estreitas até o ataque japonês – país aliado aos alemães – à ilha de Pearl Harbor, que matou milhares de soldados americanos, o que fez o país norte americano romper com a Alemanha e entrar na guerra, ao lado de russos, ingleses e franceses.

Só os planos expansionistas e absolutamente estúpidos de Hitler para promover uma das maiores ironias da história moderna da humanidade, que foi fazer a União Soviética comunista se aliar aos Estados Unidos capitalista em prol de um objetivo comum, que era derrotar a Alemanha e seus aliados.

Como um alemão judeu e sensível à causa sionista, Einstein sofreu muito com o holocausto, mas não depositava só em Hitler e seus correligionários, a culpa

⁷ Gestapo: Polícia secreta do Estado alemão. Extraído <https://pt.wikipedia.org/wiki/Gestapo>

pelos crimes contra a humanidade, mas ao próprio povo alemão. Em suas palavras: (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON, 2005, p.182)

[...] Por trás do partido nazista, está o povo alemão, que elegeu Hitler depois de ter deixado suas intenções vergonhosas absolutamente claras em seu livro e em seus discursos. Os alemães são as únicas pessoas que não fizeram qualquer tentativa séria de contra-ataque que levasse à proteção dos perseguidos inocentes...

Depois da segunda guerra, mesmo mantendo a admiração e a saudade de velhos amigos da Academia que cederam ao regime nazista, Einstein rompeu definitivamente com o país alemão, não permitindo reedições de seus trabalhos naquele país e não aceitando convites para co-participações em trabalhos científicos e eventos acadêmicos.

Quando Planck, o pai da Física Quântica morreu, em 1947, Einstein escreveu à sua viúva: (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON, 2005, p.182)

As horas em que fui permitido passar em sua casa e as muitas conversas que tive cara a cara com aquele homem maravilhoso permanecerão entre as minhas mais belas lembranças pelo resto de minha vida. Isto não pode ser mudado pelo fato de um destino trágico nos ter separado.

É claro que o destino trágico a que se refere Einstein foi o fato de um ter servido à Alemanha nazista enquanto que o outro fugiu desse sistema e se refugiou nos Estados Unidos.

Antes do Holocausto, Einstein era contrário à criação do Estado de Israel e apoiava a conciliação entre árabes e judeus, mas após o extermínio de milhões de judeus ele passou a apoiar a decretação do Estado de Israel. Mesmo com o fim da guerra, Einstein continuou a denunciar a perseguição aos judeus, muitos dos quais tentavam migrar para a Palestina, região onde seria criado o Estado de Israel, mas eram impedidos.

Porém, como já foi dito, a contribuição de Einstein foi luxuosa, mas distante, sem maiores comprometimentos. Tamanho era o seu prestígio entre os judeus, que quando o presidente de Israel Weizmann morreu, Einstein foi convidado pelo primeiro ministro Ben-Gurion para ocupar o cargo, o que foi prontamente negado. Como resposta ao convite, disse ele: (EINSTEIN [s.d.] apud ROBSON, 2005, p.184)

Estou profundamente comovido pela oferta de nosso Estado de Israel e ao mesmo tempo triste e envergonhado por não poder aceitá-la. Por toda a minha vida tratei de assuntos objetivos e, assim, me faltam o talento e a experiência para poder tratar de forma apropriada com pessoas e para o

exercícios de funções especiais. Estou ainda mais angustiado por estas circunstâncias porque minha relação com o povo judeu se tornou minha relação humana mais forte, desde o momento em que me tornei consciente de nossa situação precária entre as nações do mundo.

Desde o início da Guerra Fria, Einstein temia por uma terceira guerra mundial e por isso foi um ativista pela paz mundial e contra o investimento científico no desenvolvimento de novas armas letais, como a bomba de hidrogênio.

Seu envolvimento com causas humanitárias sempre teve uma conotação unificadora, como o desejo de criar um governo mundial, já em plena Guerra Fria ,revelando a sua veia pacifista.

Einstein propôs essa ideia do governo mundial numa carta aberta à Assembléia Geral da ONU, em 1947, que seria uma espécie de governo militar, do qual fariam parte as forças armadas das principais potências mundiais, especialmente, as grandes rivais Estados Unidos e União Soviética, chegando inclusive a propor que as autoridades americanas revelassem o segredo da bomba atômica a esse governo.

Com a Guerra Fria começando a se intensificar, é claro que essa proposta de Einstein foi fortemente rejeitada, principalmente pelos russos, incluindo os cientistas daquele país, que julgaram que Einstein estava apenas usando de uma estratégia para ampliar o imperialismo americano.

Muitos classificavam Einstein como um idealista confuso e ingênuo, tentando com isso desqualificar suas opiniões, mas houve aqueles que compraram suas ideias e as defendiam piamente. Diante dos interesses expansionistas e econômicos, seria óbvio que os governos dos países mais influentes do mundo não aceitariam a ideia de um governo mundial, além do fato de que esses países não abririam mão de sua soberania para serem subordinados a uma instância superior que teria uma representatividade de outros países, inclusive entre aqueles que não tinham uma boa relação diplomática. É preciso considerar que por ser diferenciado, Einstein ignorava que as pessoas em geral necessitavam do amparo de agentes institucionais que estivessem próximos, divergindo da ideia de uma entidade global que aparentemente, estaria distante dessas pessoas. Por esse prisma, provavelmente um governo mundial não inspiraria a confiança e a lealdade do povo, estando fadado a não dar certo. Mais uma ideia utópica de um idealista como Einstein.

Todo esse expediente de questões humanitárias fez de Einstein um crítico do Capitalismo, principalmente no seu sentido predatório, que sugava dos pobres para enriquecer ainda mais os ricos. Ao mesmo tempo era um simpatizante do Socialismo, mas nunca chegou a visitar a União Soviética – para onde foi convidado algumas vezes – mas apesar de admirar os ideais comunistas e a revolução russa, o seu pacifismo o manteve distante desse país que reagia com muita violência contra aqueles que se opunham ao regime stalinista.

Einstein sempre foi um crítico ao ceticismo científico, apesar de achar que em certa dose ele seria necessário. Achava que faltava um certo humanismo na forma como os homens da Ciência a faziam acontecer, muitas vezes em prol de interesses espúrios e nada nobres, como o fomento às atrocidades da guerra com dispositivos mortíferos cada vez mais potentes, atendendo ao fanatismo de grandes líderes mundiais.

Como homem de imensa popularidade, Einstein suscitou amor e ódio, reverência e crítica. Seus críticos tentaram difama-lo de lados opostos, pois a esquerda o taxava de pró-armamentista, enquanto a direita o acusava de divulgador de ideias esquerdistas, a despeito inclusive do dossiê criado pelo FBI como já foi comentado nesse trabalho. A figura do homem que defendia a paz mundial e a genialidade do físico que revolucionou a Ciência e a visão de mundo, sobrepujaram-se em muito a visão de seus críticos.

Einstein foi um homem que reverenciou seus grandes amigos, e até mesmo soube reconhecer as qualidades de seus desafetos; ele tinha a generosidade como marca de sua personalidade e a humildade de reconhecer os grandes feitos de físicos de outras épocas que também fizeram história, em especial, aquele que Einstein julgava o maior de todos os tempos: Isaac Newton.

No dia 18 de abril de 1955, o mundo recebe a triste notícia do falecimento de Einstein, divulgado pelo *The New York Time*, que trouxe homenagens das mais variadas autoridades e personalidades mundiais, como os presidentes dos Estados Unidos, da Alemanha Ocidental e os primeiro-ministros de Israel, França e Índia.

Depois de sua morte, seu legado científico e seus ideais humanitárias os fizeram ser justamente lembrado como a maior personalidade do século XX, pelos maiores especialistas no assunto, de forma quase unânime.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO TRABALHO DE PESQUISA

Esta sessão discorrerá sobre os procedimentos metodológicos para o levantamento dos dados da pesquisa, em diferentes etapas.

4.1. Metodologia

Esse trabalho consiste numa pesquisa-ação mista que pretende aferir quantitativamente, a contribuição da história da Ciência no aprendizado das teorias einsteinianas da 1ª fase, a destacar a Teoria da Relatividade e a participação de Einstein na Teoria Quântica com o efeito fotoelétrico. A parte qualitativa da pesquisa está na avaliação da contribuição do contexto histórico-social-político e pessoal de Einstein para o estímulo ao aprendizado e à visão crítica do aluno em relação à Ciência.

Para colocarmos a pesquisa em prática serão selecionados alunos de diferentes cursos técnicos médio integrado do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), a maioria deles cursando o 2º ano, mas também alguns do 1º ano. A mesma pesquisa também será realizada numa escola particular de Ensino Médio concomitantemente à realizada no IFAL. O fato de trabalhar nas duas escolas foi um facilitador para a realização da pesquisa, já que pude trabalhar pessoalmente com os alunos participantes da pesquisa.

Dividiremos esses alunos em duas turmas. Para a primeira turma, serão ministradas apenas aulas expositivas sobre o conteúdo propriamente dito da Teoria da Relatividade Restrita e do efeito fotoelétrico. A segunda turma será submetida aos mesmos conteúdos, porém com ampla abordagem histórica, através da apresentação do documentário Gênio da Discovery Channel e a leitura por parte dos alunos da 3ª sessão desta dissertação, a qual traz uma análise dos bastidores da vida de Einstein baseada em relatos de especialistas no assunto. Munidos de todo esse material faremos fóruns de discussão com participação estimulada dos alunos.

Para não incorrer em resultados infielis já que teremos que comparar o nível de aprendizagem das duas turmas formadas, selecionaremos alunos para compor turmas compatíveis em nível de conhecimento, para que os resultados sejam os mais fidedignos possíveis. Será aplicado um teste preliminar com questões de mecânica e ondulatória, por serem assuntos afins à Relatividade e ao efeito

fotoelétrico, para fazer a seleção dos alunos que estarão em cada turma. Após o término de todas as aulas propostas acima, os alunos serão submetidos a cinco diferentes atividades para a coleta de dados da pesquisa, a destacar:

1. duas avaliações de questões abertas, a primeira sobre a Relatividade restrita, e a segunda sobre o efeito fotoelétrico;
2. um questionário com a ampla maioria dos alunos das escolas citadas, mesmo os que não participaram das aulas, para avaliar se esses alunos já tiveram contato com aulas de Ciência com abordagem histórica e que tipo de abordagem foi trabalhada
3. uma produção de texto para que os alunos exponham com suas próprias palavras as suas impressões sobre a importância da contextualização histórica nas aulas de Física;
4. a aplicação do produto educacional que será descrito posteriormente.

É importante esclarecer que depois da primeira atividade, a 1ª turma também se submeterá a todo o aparato de abordagem histórica descrita acima.

Na última sessão deste trabalho, apresentaremos uma tabulação dos resultados obtidos e a nossa análise desses dados, além do produto educacional.

Ao cursar as disciplinas do mestrado do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM) entendemos que a teoria de aprendizagem mais apropriada para as aulas teóricas de Relatividade e efeito fotoelétrico é a Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Esta escolha não foi simples, pelo fato de que a imensa maioria das teorias de aprendizagem descarta a possibilidade de um aluno dito *tábula rasa*, trazendo consigo algum construto prévio de qualquer assunto, mesmo que seja um conceito fisicamente incorreto.

No caso específico da relatividade, há um agravante na medida em que Einstein quebrou tabus, questionou conceitos consolidados, em especial o caráter absoluto do tempo, presente até hoje no imaginário coletivo das pessoas. Vale evidenciar que, colocar o tempo como grandeza absoluta para corpos que viajam com velocidade muito inferior a da luz, funciona perfeitamente, o mesmo não acontecendo para velocidades próximas a da luz, onde o tempo tem que ser encarado como uma grandeza relativa ao referencial adotado.

Como o nosso mundo real cotidiano envolve velocidades baixas, comparadas a da luz - como um carro que circula numa rua - está impregnado na nossa forma de pensar que o intervalo de tempo em que um evento acontece é o mesmo, independente da situação cinemática dos observadores, ou seja, o tempo como uma grandeza absoluta.

Portanto, teremos que submeter nossos alunos a um processo de desconstrução para uma nova acomodação de conceitos como tempo, comprimento e velocidade relativa.

A seguir, defenderemos a ideia de que esse processo pode ser facilitado com a utilização da aprendizagem significativa nas aulas ministradas. Para isso, faremos uma breve apresentação do que trata tal teoria.

Quando um professor apresenta um novo assunto em sala de aula, o aluno não o receberá como uma tábula rasa, mas como alguém que tem ideias prévias, em menor ou maior escala, dependendo de vários fatores, como a complexidade do assunto, o nível de escolaridade do aluno e principalmente os aspectos individuais do seu histórico cognitivo. Essas tais ideias prévias são o que Ausubel chamou de subsunçores, presentes na sua estrutura cognitiva que serve de ancoradouro para a assimilação de uma nova ideia, que por uma interação dinâmica termina por modificar os próprios subsunçores. A aprendizagem significativa também requer uma predisposição do aluno para aprender, o que sugere um ambiente escolar favorável, além de um material potencialmente significativo para promover um aprendizado sólido.

No que Ausubel chamou de “princípio de assimilação”, associa-se um conceito “a” à nova informação potencialmente significativa, que se relaciona com “A” que está associado a um conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Pois bem, o produto interacional $A'a'$ corresponderia ao subsunçor modificado, devido à interação da nova informação “a” com o conceito subsunçor “A”.

Durante um período de tempo variável, o produto interacional $A'a'$ pode ser dissociado em A' e a' , porém, após esse período, o significado das novas ideias tende a ser assimilado pelos significados mais estáveis das ideias estabelecidas na estrutura cognitiva, que já não são mais as mesmas do início do processo. Essa é a fase da aprendizagem que Ausubel chamou de *assimilação obliteradora* (grifo

nosso) onde A'a' já não se dissociam em A' e a', não sendo possível produzi-las isoladamente.

A partir daí, vem o último estágio do processo de aprendizagem que muitos teóricos chamam de *esquecimento*, onde, segundo Ausubel, resta o resíduo da assimilação obliteradora A', mais estável do que o produto A'a'.

Em relação à essa questão, afirma Moreira & Mansini (2001, p.27):

O conhecimento assim adquirido está ainda sujeito à influência erosiva de uma tendência reducionista da organização cognitiva: é mais simples e econômico reter apenas as ideias, conceitos e proposições mais gerais e estáveis do que as novas ideias assimiladas.

Outros aspectos importantes da Teoria da Aprendizagem Significativa são a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*.

A *diferenciação progressiva* trata da sequência mais coerente da apresentação de um conteúdo, onde ideias mais gerais, mais abrangentes devem ser apresentadas no início, para que progressivamente sejam discriminadas, especificadas e detalhadas.

A *reconciliação integrativa* trata da fase em que, à medida que vão surgindo proposições, conceitos e suas relações, são trabalhadas as diferenças e similaridades.

Quando o professor vai ensinar Hidrostática, geralmente, percebe que seus alunos têm uma ideia prévia de que os corpos que flutuam são leves e os que afundam são pesados, o que parece puramente intuitivo. Contudo, após a apresentação das teorias e princípios de Hidrostática – onde os alunos estudam: pressão, densidade, empuxo – os novos conceitos apresentados vão criando uma nova visão dos fenômenos associados aos corpos imersos em fluidos, interagindo, assim, com suas ideias iniciais. Até que, em uma última instância, acomoda-se a ideia de que a flutuação ou o afundamento dos corpos, na verdade, dependem da comparação da densidade do corpo com a do líquido em questão.

O mesmo acontece quando escutamos numa fala leiga que a água do rio é “mais pesada” que a água do mar, fazendo-se uma associação de peso com dificuldade de movimento. Com os princípios da Hidrostática, mas especificamente com o Teorema de Arquimedes, tentamos desconstruir esse falso conceito, mostrando que a água salgada por ser mais densa é mais pesada que a água doce – ao contrário do que se pensa - e que a maior dificuldade de nadar no rio deve-se

ao fato de que, para um corpo flutuar na água doce precisa afundar mais do que na água salgada, enfrentando com isso maior resistência da água, o que dá uma falsa sensação de peso. Aproveitamos a ideia sensorial da maior dificuldade de nadar no rio, especialmente para aqueles que já viveram tal experiência, mas desconstruímos a velha justificativa para esse fato trocando por outra fisicamente correta.

A depender do material que está sendo apreendido e da estrutura cognitiva do aprendiz, os subsunçores têm maior ou menor importância, mas estão sempre presentes.

Como professor na área de Física no Ensino Médio, nos deparamos com situações embaraçosas, como introduzir um assunto que parece alavancar poucos subsunçores da estrutura cognitiva do aluno, ou pior, subsunçores que deflagram ideias pré-concebidas absolutamente equivocadas a respeito do assunto abordado. Um exemplo disso é a difícil tarefa de desfazer a ideia trazida pelo senso comum de que os corpos flutuam em órbita por causa da ausência da gravidade, um erro clássico de interpretação.

Não é nada fácil desconstruir aquilo que habita confortavelmente o imaginário coletivo e o nosso intuitivo. O fato de o professor não poder se apoiar naquilo que o aluno já sabe a respeito do assunto – por estar fisicamente incorreto – é um desafio para qualquer teoria de aprendizagem.

No caso citado acima, uma boa estratégia seria a de criar pontes ou associações. Ou seja, fazer o aluno imaginar situações fisicamente similares com a de estar em órbita, como a queda livre dentro de um elevador ou uma perda total de um avião em vôo, situações estas, onde o aluno aceita melhor a influência da gravidade, até acomodar a ideia de que “estar em órbita” (grifo nosso) pode ser entendido como uma “queda infinita”(grifo nosso). Essas associações são pontes cognitivas que Ausubel chamou de organizadores prévios, que podem funcionar como um facilitador para a aprendizagem significativa.

À luz da Aprendizagem Significativa de Ausubel voltemo-nos agora, especificamente, para os conteúdos das aulas que serão ministradas.

4.2. Aula de Relatividade

Esse item tratará dos caminhos percorridos por Einstein para a criação da primeira parte da Teoria da Relatividade, mais especificamente, a Relatividade

Restrita ou Especial, lançada em 1905. Trataremos dos experimentos desenvolvidos no início do século que entraram em total divergência com a Física Clássica vigente, fatores que motivaram o jovem cientista Albert a quebrar paradigmas e solucionar as divergências surgidas, que não chegaria a sepultar a Física Clássica, mas mudaria definitivamente a forma de condução da Ciência Física.

Como as aulas da Teoria da Relatividade serão ministradas para alunos do Ensino Médio, procuraremos utilizar uma linguagem acessível, o mesmo valendo para o efeito fotoelétrico.

A luz certamente, foi uma das entidades físicas que mais intrigou os cientistas, especialmente quanto a sua natureza, suscitando discussões calorosas durante séculos. A busca da determinação experimental da velocidade da luz e em relação a que referencial esse cálculo deveria ser feito motivou muitos físicos e trouxe resultados surpreendentes.

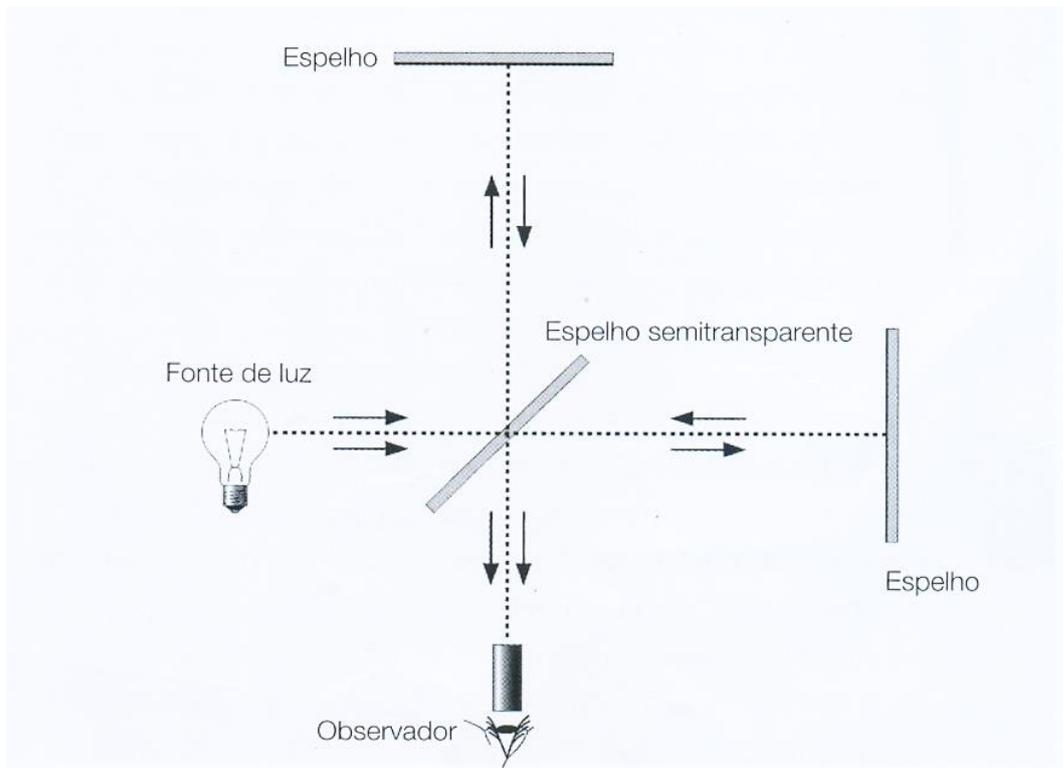
Desde menino, o pequeno Albert, que já despertava curiosidade sobre a luz, se fez uma pergunta aparentemente inocente e despreziosa, cuja solução que viria anos depois, seria a essência da Teoria da Relatividade Restrita. Aos 16 anos teria se perguntado o que veria, se pudesse correr lado a lado com feixe de luz, emparelhado com ele. Será que veria uma onda eletromagnética estática, congelada diante de seus olhos?

Dez anos depois, justamente em 1905, Einstein começou a responder a sua pergunta juvenil, pesquisando o Eletromagnetismo de James Clerk Maxwell, teoria por que Einstein demonstrava muito interesse. Logo verificou que as famosas equações de Maxwell não admitiam ondas estacionárias congeladas como solução. Mas havia uma questão importante a ser discutida: essas equações forneciam um valor constante para a velocidade da luz, mas em relação a que referencial?

Admitia-se que haveria um meio hipotético que permearia todo o espaço, inclusive o vácuo, chamado 'éter', meio elástico que representaria o repouso absoluto e por onde viajariam as ondas eletromagnéticas, que em relação ao éter teriam velocidade constante e igual à da luz. Muitos experimentos foram idealizados na tentativa de se detectar o éter, mas que foram frustrados mesmo com a utilização de aparatos cada vez mais sofisticados. O mais famoso deles foi o interferômetro dos cientistas Albert Michelson e Edward Morley na Case School of Applied Science (Escola de Ciências Aplicadas de Case) em Cleveland, Ohio, em 1887. Resumidamente, o experimento consistia em fazer a luz propagar-se em diferentes

direções (perpendiculares) durante algum tempo, através de um aparato que consistia em dois espelhos planos e um espelho semi-transparente, como observado na figura abaixo:

Figura 1 - Diagrama simplificado do experimento de Michelson-Morley, de 1897



Fonte: Hawking, 2005.

Ao ser atravessado por um suposto “vento de éter”(grifo nosso) numa determinada direção, uma das propagações seria afetada por esse vento tendo sua velocidade alterada, o que geraria uma interferência detectável no observador. Porém, nenhuma interferência foi detectada. Este experimento foi repetido pelo menos umas quinze vezes, durante cinquenta anos, e nunca foi detectada a presença do éter. Este e outros experimentos pareciam indicar que a velocidade da luz era a mesma, independente do referencial em relação ao qual sua velocidade estava sendo medida. Mas, a veracidade desse fato implicaria em sérios danos às previsões da Física Clássica. Vejamos por que:

Numa situação absolutamente hipotética, imagine uma lanterna e uma nave espacial, ambas em repouso. Se a lanterna for acesa em direção à nave, um observador na nave veria a luz aproximando com a velocidade de aproximadamente

300.000 km/s. No entanto, se a nave entrar em movimento aproximando-se da lanterna com uma velocidade de 100.000 km/s, pelas previsões galileanas de velocidade relativa, oriunda da Física Clássica, a velocidade com que o observador na nave veria a luz aproximar-se seria de: $300.000 \text{ km/s} + 100.000 \text{ km/s} = 400.000 \text{ km/s}$. Mas os resultados experimentais atestam que o observador continuaria vendo a luz aproximar-se com 300.000 km/s, velocidade limite possível no universo. Portanto, para velocidades comparáveis à da luz, a Física de Newton e Galileu estava em apuros e era iminente a necessidade de surgir novas ideias que pudessem solucionar tal impasse.

É nesse contexto que aflora a genialidade de Einstein, que ignora a existência do éter e, principalmente, questiona o inquestionável: a grandeza tempo deixa de ser absoluta e passa a ser relativa à condição de velocidade do observador que irá medi-lo. Partindo dos seguintes postulados Einstein construiu a Teoria da Relatividade:

1° postulado: *As leis da Física são as mesmas, expressas por equações que têm a mesma forma, em qualquer referencial inercial. Não existe um referencial privilegiado.*

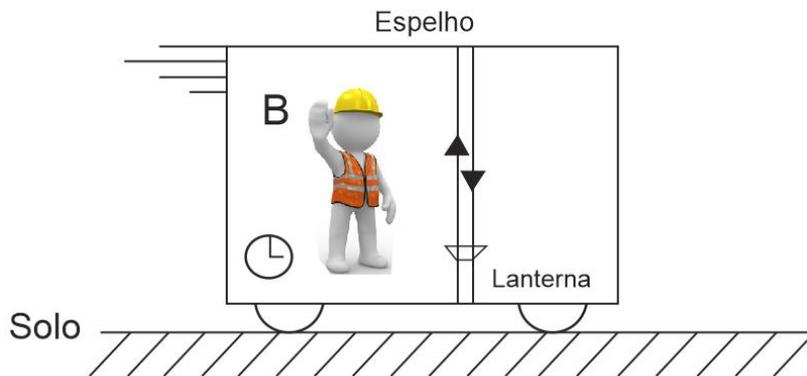
2° postulado: *A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c (aproximadamente 300.000 km/s) em qualquer referencial inercial, independente do movimento relativo entre o observador e a fonte.*

Um referencial inercial é todo aquele que está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

O segundo postulado era simplesmente uma reprodução dos resultados experimentais que surgiram no final do século XIX e início do século XX, a despeito, por exemplo, do interferômetro de Michelson e Morley. O problema é que a constatação desse postulado era desastrosa para as previsões clássicas, que entravam em rota de colisão com esse resultado. Na sua teoria, Einstein descreve a dilatação do tempo e a contração do comprimento, amplamente comprovados em diferentes épocas, como justificativa para o segundo postulado. As falhas das previsões clássicas só foram perceptíveis para problemas envolvendo velocidades comparáveis com a da luz, por isso passou tanto tempo sem ser constatada. Para entendermos melhor, verifiquemos a dilatação do tempo.

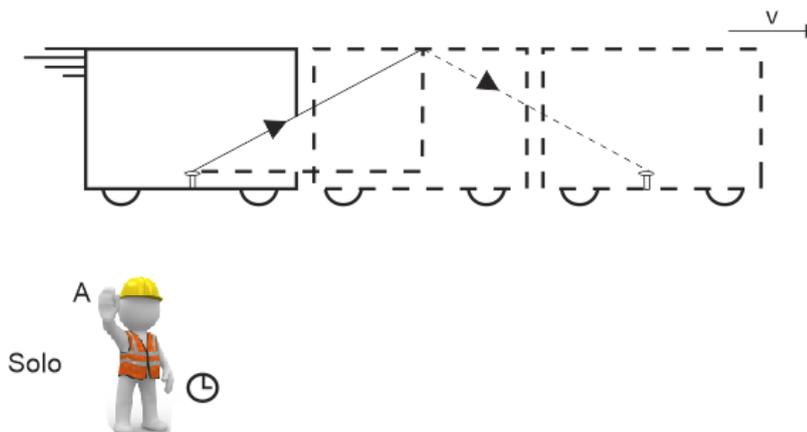
Suponha a seguinte situação hipotética: Um trem move-se com uma certa velocidade v , fora do qual existe um observador A e dentro do vagão existe um espelho plano no teto e um observador B com uma lanterna na mão, que irão observar e registrar a passagem de dois eventos. O primeiro evento corresponde ao momento que a lanterna emite um pulso de luz e o segundo evento ao momento que o pulso de luz retorna para a lanterna. Evidentemente para cada observador a trajetória da luz será diferente. Para o observador B que está dentro do vagão do trem, a trajetória será retilínea e vertical para cima e para baixo, enquanto que para o observador A será retilínea e inclinada para cima e para baixo, conforme as figuras I e II.

Figura 2: Trajetória da luz para o observador



Fonte: Brito 2003.

Figura 3 - Trajetória da luz para o observador A



Fonte: Brito, 2003.

Sabemos que velocidade = deslocamento/tempo, então se os dois observadores estão igualmente medindo o intervalo de tempo entre os dois eventos, para um mesmo intervalo de tempo, quanto maior o deslocamento maior deveria ser a velocidade, ou seja, para o observador A, a velocidade da luz deveria ser maior do que a velocidade da luz medida pelo observador B. Essas seriam as previsões clássicas, mas que na prática não é verificável, já que a velocidade da luz é a mesma medida no referencial em A, que está em movimento em relação ao trem e no referencial em B, que está em repouso em relação ao trem.

A solução trazida por Einstein quebra a ideia do tempo como uma grandeza absoluta, ideia fixa e 'inquestionável', e admite que a única forma de manter a velocidade da luz constante para os dois referenciais é afirmar que o intervalo de tempo medido entre os dois eventos é diferente para cada observador. Para uma mesma velocidade, quanto maior o deslocamento maior o intervalo de tempo, portanto, para o observador A o intervalo de tempo medido seria maior do que o medido pelo observador B, fato que foi denominado dilatação do tempo.

Para distinguirmos os intervalos de tempo medidos pelos diferentes observadores, tomaremos como tempo próprio o tempo medido pelo relógio que se encontra parado em relação ao local dos eventos (caso do observador B na nossa situação hipotética), e tempo dilatado o tempo medido pelo relógio que está em movimento em relação ao local dos eventos (caso do observador A na nossa situação hipotética).

Chamemos de Δt_A o intervalo de tempo entre os dois eventos medido pelo observador A e Δt_B o intervalo de tempo entre os dois eventos medido pelo observador B. Para o observador A o deslocamento da luz entre o primeiro e o segundo evento é dado por $c \cdot \Delta t_A$ e o deslocamento do trem é dado por $v \cdot \Delta t_A$, assim como em relação ao observador B, o deslocamento da luz é dado por $c \cdot \Delta t_B$. Utilizando o teorema de Pitágoras no triângulo destacado na figura II, e considerando apenas a subida da luz, os lados do triângulo retângulo serão as metades dos deslocamentos citados acima. Vejamos:

$$\left(\frac{c \cdot \Delta t_A}{2}\right)^2 = \left(\frac{v \cdot \Delta t_A}{2}\right)^2 + \left(\frac{c \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2$$

$$\frac{c^2 \Delta t_A^2}{c^2} = \frac{v^2 \Delta t_A^2}{c^2} + \frac{c^2 \Delta t_B^2}{c^2}$$

$$c^2 \Delta t_A^2 = v^2 \Delta t_A^2 + c^2 \Delta t_B^2$$

Dividindo todos os termos por c^2 , teremos

$$\Delta t_A^2 = \frac{v^2}{c^2} \cdot \Delta t_A^2 + \Delta t_B^2$$

$$\Delta t_A^2 - \frac{v^2}{c^2} \cdot \Delta t_A^2 = \Delta t_B^2$$

$$\Delta t_A^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) = \Delta t_B^2$$

$$\Delta t_A^2 = \frac{1 - \frac{\Delta t_B^2}{\Delta t_A^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

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

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

Ainda podemos escrever essa expressão como:

$$\Delta t_A = \gamma \Delta t_B, \text{ onde } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ chamado de fator de Lorentz.}$$

Para velocidades próximas à da luz, $\gamma > 1$, corroborando com a ideia de um tempo dilatado para o observador A, maior que o tempo próprio medido pelo observador B.

Se $v \ll c$, então $\gamma = 1$, não sendo verificada a dilatação do tempo.

Nossos alunos aprendem nas aulas de Física que se dois carros movem em sentidos opostos, a velocidade de aproximação de um em relação ao outro, que chamamos de velocidade relativa, é a soma dos módulos dessas velocidades. Assim

se um deles encontra-se a 50 km/h e o outro a 70 km/h, eles estarão se aproximando a 120 km/h, o que explica porque as colisões frontais devem ser evitadas, já que a velocidade de aproximação é a soma das velocidades dos dois carros.

Este conceito de velocidade relativa herdado de Galileu está absolutamente consolidado e já pertence ao imaginário coletivo das pessoas que tentam analisar fisicamente fatos associados a essa ideia. Está aí um exemplo de um conceito subsunçor tal como cita Ausubel e que tem que ser considerado, até porque funciona perfeitamente para situações como a citada acima, em que as velocidades envolvidas são muito inferiores á velocidade da luz.

Entretanto, quando se trata de eventos em que as velocidades envolvidas são próximas a da luz, esse conceito cai por terra. Se tivermos uma partícula que viaja com uma velocidade de $0,9c$ (90% da velocidade da luz) e que está se aproximando de outra partícula com uma velocidade de $0,7c$ (70% da velocidade da luz) , a velocidade de aproximação não será a soma das duas, ou seja, $1,6c$, pois ultrapassaria a velocidade limite que é c . Temos questionada a ideia galileana da soma das velocidades, completamente intuitiva para os nossos alunos. Ora, o universo das partículas subatômicas que viajam com velocidades próximas a da luz não faz parte de nossa vida cotidiana, ao contrário dos carros que circulam pelas ruas, fato que faz parte do dia a dia das pessoas. Portanto aceitar a ideia do segundo postulando de Einstein que determina o caráter absoluto da velocidade da luz, independente do observador que a esteja medindo, não é algo intuitivo, muito pelo contrário.

Mesmo contrariando um consolidado conceito do aluno, podemos nos valer de seus prévios conhecimentos para começar a trabalhar a ideia da dilatação do tempo. Se no exemplo da lanterna acesa no vagão do trem o aluno aceitar a ideia de que a velocidade da luz é a mesma para os dois observadores A e B, ao perceber que a distância que a luz percorre é diferente para cada observador, não será difícil aceitar que o intervalo de tempo medido por cada observador também será diferente, recorrendo ao fato de que para uma mesma velocidade, espaço e tempo são proporcionais, subsunçores que nesse caso seriam perfeitamente aproveitáveis.

O conceito subsunçor de que o tempo para medir a duração de um evento é o mesmo para quaisquer observadores precisa sofrer um ajuste para uma acomodação. Essa espécie de reconciliação desse conceito se dá no sentido de

que a antiga ideia de que o tempo é absoluto só continua valendo para eventos em que os corpos envolvidos estão com velocidades muito inferiores à da luz, mas para eventos em que os corpos estão com velocidade próximas à da luz o tempo deve passar a ser encarado como uma grandeza relativa ao observador em relação ao qual o tempo do evento está sendo medido. Se o conceito de tempo for reassimilado, dessa forma, podemos dizer que o objetivo da apreensão da dilatação do tempo foi alcançada, aquilo que Ausubel chamou de resíduo da assimilação obliteradora.

No mesmo caminho, para solucionar o problema trazido pelo segundo postulado, Einstein além de afirmar que o tempo não era mais uma grandeza absoluta, defende que a medida do comprimento de um corpo também deixe de ser uma grandeza absoluta e passe a depender do referencial em relação ao qual essa medida está sendo feita, aquilo que foi chamado de contração do comprimento. Vejamos mais uma situação hipotética:

Suponha que o vagão de um trem com velocidade V vai atravessar um túnel e que exista um observador B parado em relação ao vagão e encostado na sua janela. Admitamos também um observador A fora do vagão e parado em relação ao túnel. Mais uma vez temos dois eventos para destacar: o primeiro seria a passagem da janela do trem pelo início do túnel, e o segundo seria a passagem da janela do trem pelo final do túnel, conforme ilustra a figura abaixo. Considerando que o local em que os eventos acontecem é a janela do vagão, o observador B encontra-se parado em relação ao local do evento, registrando com isso o tempo próprio entre os dois eventos, enquanto que o observador A está em movimento em relação ao local dos eventos, medindo com isso o tempo dilatado entre os dois eventos. Supondo que L_A seja o comprimento do túnel medido pelo observador A e L_B o comprimento do túnel medido pelo observador B, como o observador A está parado em relação ao túnel cujo comprimento se quer medir, podemos afirmar que L_A corresponde ao comprimento próprio. Então vejamos:

$$L_A = v \cdot \Delta t_A$$

$$L_B = v \cdot \Delta t_B$$

Como $\Delta t_A > \Delta t_B$, então $L_A > L_B$. Mas como L_A é o comprimento próprio, L_B será o comprimento contraído. Pelos cálculos teremos:

$$\Delta t_A = \gamma \cdot \Delta t_B$$

$$\Delta t_B = \Delta t_A / \gamma$$

$$L_B = v \cdot \Delta t_B = v \cdot \Delta t_A / \gamma$$

Como $L_A = v \cdot \Delta t_A$, então:

$$L_B = L_A / \gamma.$$

Como já vimos, para velocidades próximas à da luz $\gamma > 1$, implicando em $L_B < L_A$, sendo L_B o comprimento contraído pois é menor que o comprimento próprio.

A contração do comprimento só acontece ao longo da direção do movimento do observador.

Entendemos que se houver a acomodação a respeito do conceito de tempo no processo de aprendizagem, a assimilação de um novo conceito de comprimento de um corpo a despeito da possibilidade de ser alterado de acordo com o movimento relativo do observador que irá medi-lo, será facilitado e aceito com menos resistência.

É importante salientar que antes da relatividade de Einstein já havia especulações sobre a contração do comprimento e no retardo do relógio de corpos em movimento, mas ainda atrelada à ideia do éter. Foi o que sugeriram o físico irlandês George FitzGerald e o físico holandês Hendrik Lorentz, com base no experimento de Michelson e Morley

No entanto resolver o problema da constância da velocidade da luz, sem depender da existência do éter, veio com Einstein, em um de seus muitos lampejos geniais. A Teoria da Relatividade derrubou barreiras ditas intransponíveis e, como não podia deixar de ser, gerou muita desconfiança na comunidade científica, apesar das comprovações posteriores e sua utilização em sistemas tecnológicos, como o ajuste fino para localizadores do tipo GPS. Segundo Hawking (apud ROBSON et al., 2005, p.44-45):

Einstein havia derrubado dois conceitos absolutos do século XIX: o repouso absoluto representado pelo éter, e o tempo absoluto ou universal que todos os relógios registrariam. Muitos o encararam como um conceito perturbador. A implicação, perguntavam, era de ser *tudo* relativo, não existindo padrões morais absolutos? Tal mal – estar perdurou ao longo dos anos 20 e 30.

Essa resistência do mundo acadêmico ao novo trazido por Einstein era justificável. Com apenas 26 anos, apesar de já ter desenvolvido alguns trabalhos científicos, era apenas um funcionário de um escritório de patentes e não estava atrelado à nenhuma universidade. Pouco conhecia os trabalhos de outros cientistas

da época, tanto é que no texto de sua teoria havia pouca ou nenhuma menção a trabalhos anteriores. Não há inclusive clareza se Einstein conhecia até então a experiência de Michelson – Morley. Questões como essas serão amplamente discutidas na contextualização histórica que estará presente nas aulas de Relatividade ministradas aos alunos do Ensino Médio, e que serão objetos de nossa pesquisa.

Como foi dito anteriormente existiram inúmeras comprovações da veracidade da Teoria da Relatividade Restrita. Na aula expositiva para os alunos traremos um exemplo dessa comprovação, que fala do tempo de vida útil de um tipo de partícula chamada méson μ . Vejamos:

Nas altas camadas da atmosfera os raios cósmicos incidentes produzem partículas instáveis, chamadas mésons μ , que tem uma vida útil de $2,2 \cdot 10^{-6}$ s. Considerando que sua velocidade é de $0,998c$, calculemos a distância percorrida por essas partículas durante esse intervalo de tempo:

$$\Delta S = v \cdot \Delta t$$

$$\Delta S = (0,998 \cdot 3 \cdot 10^8) \cdot (2,2 \cdot 10^{-6}) = 660\text{m}$$

Porém, a altitude onde são produzidas essas partículas é de cerca de 10.500m, o que significaria que elas não poderiam atingir a superfície da Terra. Mas, ao contrário dessa previsão os mésons μ atingem a superfície da Terra em grande quantidade. Estamos então diante de um impasse que a Física Clássica não resolve. Levando em consideração a proximidade da velocidade dessas partículas com a velocidade da luz faz-se necessário considerar os efeitos relativísticos para corrigir tal distorção. Vejamos:

Primeira resolução (considerando a dilatação do tempo)

A vida média de um méson μ corresponde ao intervalo de tempo entre dois eventos: o seu nascimento e a sua desintegração. O intervalo de tempo citado anteriormente ($2,2 \cdot 10^{-6}$ s) é medido num referencial em repouso em relação ao méson μ , o que sugere que esse intervalo seria o tempo próprio, já que foi medido por um observador parado em relação ao local do evento (o próprio méson μ). Então iremos calcular o tempo dilatado ($\Delta t'$), que seria medido por um observador na superfície da Terra, ou seja, em movimento em relação ao local do evento:

$$\Delta t' = \gamma \cdot \Delta t$$

$$\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Delta t = \frac{2,2}{\sqrt{1 - \frac{(0,988C)^2}{c^2}}} = 35\mu\text{s}$$

$$\Delta t' = 35 \cdot 10^{-6} \text{s}.$$

Portanto, para uma pessoa na superfície da Terra a vida média dessa partícula é de $35 \cdot 10^{-6}$ s. Calculando a distância percorrida nesse intervalo de tempo, teremos:

$$\Delta S' = v \cdot \Delta t'$$

$$\Delta S' = (0,998 \cdot 3 \cdot 10^8) \cdot (35 \cdot 10^{-6}) = 10.500 \text{m}.$$

Ao se levar em consideração os efeitos relativísticos da Teoria da Relatividade fica explicado por que os mésons μ conseguem atingir a superfície terrestre.

Segunda resolução (considerando a contração de comprimento):

Imaginemos uma montanha bem alta cujo comprimento vertical será medido por dois observadores: um no solo, em repouso em relação à montanha, e outro viajando com o próprio méson μ , ou seja, em movimento em relação à montanha. O primeiro mede o comprimento próprio L e o segundo mede o comprimento contraído L' de acordo com o que foi apresentado na Teoria da Relatividade. Considerando que a montanha tenha 10.500m de altura para o observador no solo, ou seja, $L = 10.500\text{m}$, iremos calcular L' para o referencial na própria partícula:

$$L' = L / \gamma$$

$$L' = \frac{L}{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} = L \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 10.500 \sqrt{1 - (0,988)^2} = 660 \text{m}$$

$$L' = 660 \text{m}$$

Portanto, para um referencial no solo a altura da montanha é de 10.500m o que corresponde à distância que ele percorre na sua vida média, enquanto que para um referencial na partícula, a altura da montanha é de 660m, o que corresponde à distância percorrida pela partícula na sua vida média.

Mesmo que não seja um evento observável a olho nu, entendemos que conhecer um resultado experimental que comprove a dilatação do tempo e a contração do comprimento pode ser uma estratégia para reforçar essa readaptação aos conceitos de tempo e espaço⁸.

Iremos agora penetrar no universo da dinâmica de Newton, mas levando em consideração aspectos relativísticos de Einstein para mais uma vez concluir que a Física Einsteiniana resolve o problema da Física Clássica para altas velocidades e ao mesmo tempo reduz-se a essa última, para situações de baixas velocidades.

Trataremos inicialmente da massa relativística e do problema da segunda lei de Newton para altas velocidades.

Já consideramos os efeitos relativísticos para a contagem de tempo e para a medida do comprimento de um corpo em situações onde a velocidade desse corpo se aproxima da luz. Agora, a massa de um determinado corpo também deixará de ser considerada uma grandeza absoluta, passando a depender da velocidade do referencial em relação ao qual a massa desse corpo será medida. Chamaremos de m_0 a massa de repouso, ou seja, a massa do corpo medida num referencial em repouso em relação ao mesmo. Agora, chamaremos de m a massa relativística, ou seja, a massa do corpo medida num referencial em movimento com velocidade v em relação ao mesmo. Portanto a relação da massa relativística com a massa em repouso, será:

$$m = \gamma \cdot m_0$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Se considerarmos a situação corriqueira de $v \ll c$, γ tende a 1 e $m = m_0$, o que torna imperceptível o aumento de massa, ou seja, o efeito relativístico, fato que, entre outros, gerava uma certa desconfiança quanto à veracidade da relatividade de Einstein. Porém, os aceleradores de partículas que surgiram muitos anos depois da Teoria da Relatividade comprovam experimentalmente o aumento de massa de partículas que alcançam velocidades próximas à da luz.

⁸ Essas informações sobre a comprovação da dilatação do tempo e a contração do comprimento foram extraídas da apostila do curso Simétrico do professor de Física Renato Brito.

Para tomar como exemplo, imaginemos um corpo com massa de repouso 6 kg que alcance uma velocidade $0,8c$. Qual seria sua massa relativística a essa velocidade?

Aplicando a expressão para a dilatação da massa, teremos:

$$m = \frac{6}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} = \frac{6}{\sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}}} = \frac{6}{\sqrt{0,36}} = \frac{6}{0,6} = 10\text{kg}$$

Em princípio pode parecer muito estranho um corpo ter a sua massa aumentada de 6kg para 10kg, pelo simples fato de ter assumido uma alta velocidade. Obviamente não pelo fato de que o corpo ganhou novas moléculas, pois isso definitivamente não aconteceu. Mas para acionarmos algo tangível aos alunos lembraremos que o próprio Newton definiu a massa como a medida da inércia de um corpo, ou seja, a medida da sua resistência à mudança de velocidade. Portanto esse aumento de massa observado no exemplo acima, significaria um aumento da inércia do corpo e que seria necessária uma força de maior intensidade para leva-lo a uma aceleração igual a que ele teria com sua massa de repouso, aumentando assim a dificuldade de empurra-lo.

A massa como uma grandeza variando com a velocidade relativa ao observador que a mede, é mais uma ideia transgressora para o aluno que em toda sua vida escolar anterior ouviu como algo passivo a ideia de que a massa é absolutamente constante sob quaisquer circunstâncias. Mas esclarecer que já houve comprovações experimentais, além de reconceituar a massa como a medida da inércia de um corpo e não como a medida do número de moléculas, podem reforçar essa nova e estranha definição. É claro que não é nada simples a tarefa de desvincular o conceito de massa ao número de moléculas do corpo, mas a transferência desse conceito para o da medida da inércia, certamente é o melhor caminho para a aceitação a posteriori da ideia da massa relativística.

A segunda lei de Newton trata da resultante das forças que agem num corpo (força resultante F_R) como a variação temporal da quantidade de movimento ou momento linear, que pode ser estendida para o produto da massa pela aceleração do corpo. Vejamos:

$$F_R = \Delta Q / \Delta t, \text{ mas } Q = mv, \text{ então } F_R = (mv - mv_0) / \Delta t = m(v - v_0) / \Delta t = m \cdot \Delta v / \Delta t$$

Como $a = \Delta v / \Delta t$, concluímos que $F_R = m \cdot a$

Sabemos que, se um corpo encontra-se em movimento retilíneo uniformemente variado ele tem uma aceleração constante e sua velocidade varia linearmente com o tempo. Portanto, pela Física dos Tempos de Newton, um corpo poderia ter sua velocidade aumentada indefinidamente até alcançar e ultrapassar a velocidade da luz, pois suas equações não traziam nenhum impedimento matemático para isso. Porém, a partir da teoria de Maxwell já se especulava que a maior velocidade do universo era a da luz e que nenhum corpo poderia ultrapassar essa velocidade. Mas só a Relatividade de Einstein trouxe a explicação matemática para a limitação da velocidade de um corpo. Vejamos:

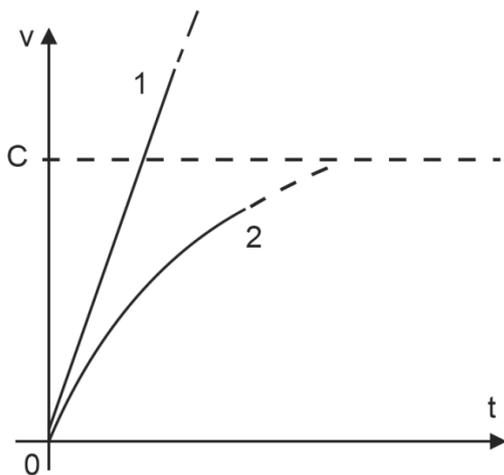
Considerando os efeitos relativísticos de Einstein a equação $F_R = m \cdot a$ pode ser escrita como

$$F_R = \gamma m_0 \cdot a, \text{ onde } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Analisando o fator de Lorentz, se a velocidade v de um corpo tende a c , γ tende ao infinito. Ora mas se a força resultante é constante, já que o movimento é uniformemente variado, γ e a tornam-se inversamente proporcionais. Se γ tende ao infinito, a tende a 0. No entanto, quando a aceleração torna-se nula o corpo entra em movimento uniforme passando a ter a velocidade constante e impossibilitando o seu aumento, o que faz de c a velocidade limite para qualquer corpo.

Na verdade, a velocidade de um corpo igual a da luz no vácuo ($v = c$), é apenas um resultado teórico, na prática não pode ser alcançado, pois nessa condição a massa relativística seria infinita, tendo que se implementar toda a energia do universo para levar um corpo de massa de repouso diferente de zero para alcançar a velocidade da luz no vácuo. Observe o gráfico $v \times t$:

Gráfico 1 - Curvas 1 e 2 de velocidade versus tempo para as previsões de Newton e Einstein respectivamente



Fonte: Brito, 2003.

A curva 1 seria a previsão do aumento de velocidade segundo a Física Clássica, enquanto que a curva 2 seria a previsão da evolução da velocidade segundo a relatividade de Einstein.

Entendemos que esse último excerto contribuiu para consolidar a compreensão por parte dos alunos das limitações da física newtoniana e a abrangência da Física Einsteiniana, essa última reduzindo-se à outra para velocidades muito inferiores à da luz, desmistificando a equivocada ideia de que a Física Moderna descartou completamente a Física Clássica.

Em setembro de 1905 Einstein publicou um adendo de três páginas ao trabalho da Relatividade Restrita, quando surge a famosa equação que relaciona energia, massa e velocidade da luz ($E = mc^2$). A seguir iremos expor esse conteúdo da equivalência entre massa e energia e da energia cinética relativística, além da quantidade de movimento relativística, dentro de uma linguagem matemática apropriada para o nível médio.

Equivalência entre massa e energia

Einstein também mostrou na Teoria da Relatividade de 1905 que existe uma relação entre massa e energia, ou seja, uma suposta desintegração de uma determinada massa liberaria uma certa quantidade de energia. Associado à massa de repouso, teremos a energia de repouso, dada por:

$E_0 = m_0 \cdot c^2$, onde c é a velocidade da luz no vácuo.

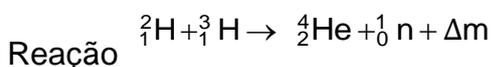
Por exemplo, se fosse possível desintegrar uma pedra de massa de repouso de 1g, transformando-a totalmente em energia, obteríamos:

$$E_0 = (1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ J(joule)}$$

Essa energia daria para manter acesas 1000 lâmpadas de 100 W(watt) durante quase 30 anos.

Com este estudo, Einstein explica de onde vem e como se calcula a energia liberada em determinadas reações nucleares, onde se percebe que a massa do produto da reação é menor que a massa do reagente, havendo o que podemos chamar de defeito de massa, que seria a diferença entre a massa do reagente e a massa do produto, quantidade essa que teria se convertido em energia. Certamente. o exemplo mais emblemático seria a energia solar, que vem de uma reação nuclear chamada de fusão.

Nessa reação, isótopos de hidrogênio se unem para formar átomos de hélio, porém a soma da massa dos núcleos de hidrogênio que compõem o reagente é levemente maior que a massa do núcleo de hélio mais o nêutron que se formam no produto dessa reação. Vejamos o exemplo da reação de fusão de núcleos de Deutério e Trítio:



Balanço de massa: $2,01410 + 3,01605 = 4,00260 + 1,008665 + \Delta m$

Defeito de massa: $\Delta m = 0,01888u$, onde $u = 931 \text{ MeV}$

Ganho de energia: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,01888 \times 931 \text{ MeV} = 17,6 \text{ MeV}$

No sol, a cada segundo, cerca de 657 milhões de toneladas de hidrogênio sofrem fusão nuclear e se transformam em 653 milhões de toneladas de hélio. Quatro milhões de toneladas de diferença converte-se em energia radiante transmitido para aquecer e iluminar o nosso sistema solar, a cada segundo. Mas considerando que a massa do sol é de cerca de $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, isso significa que essa fonte energética ainda durará cerca de quatorze trilhões de anos. São números que impressionam e esse mesmo processo de fusão nuclear também acontece com outras estrelas do universo, fontes de energia para alimentar outros sistemas solares.

Outro exemplo emblemático de aplicação da famosa equação de Einstein é o da fissão nuclear, princípio de funcionamento da temida bomba atômica, fato que alimentou o imaginário das pessoas no mundo todo no sentido de associar a bomba atômica à figura de Einstein. Discutimos na seção anterior que esse imaginário coletivo destoa bastante dos fatos na íntegra, e que, ironicamente, foi justamente ele uma das personalidades que mais se opôs à construção desta e de outras bombas ainda mais poderosas. Mantendo uma linguagem acessível ao Ensino Médio, explanaremos o processo de fissão nuclear:

Os elementos químicos Po-239 (polônio), U-233 e U-235 (urânio) são bastante instáveis e sofrem o processo de fissão quando bombardeados por nêutrons. O nome fissão deve-se ao fato de que ao ser bombardeado por nêutrons o urânio é “quebrado” em outros dois elementos químicos, permitindo 04 (quatro) tipos de reações diferentes. Como aconteceu na fusão nuclear essa reação de fissão nuclear também terá o produto com uma massa inferior ao do reagente, havendo o que já chamamos de defeito de massa, quantidade que é convertida em energia, correspondendo numericamente à energia liberada na reação. Uma delas, por exemplo, é a que tem como produto o Bário e o Criptônio. Segue a reação:



$$\text{Balanço de massa} \quad 235,04395 + 1,008665 = 142,92054 + 89,91959 + 3(1,008665) + \Delta m$$

$$\text{Defeito de massa} \quad \Delta m = 0,186 \text{ u, onde } 1\text{u} = 931\text{MeV}$$

$$\text{Ganho de energia} \quad \Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,186 \times 931\text{MeV} = 173,6\text{MeV}$$

É importante observar que no produto dessa reação surgem três nêutrons, fato que dá a esse tipo de colisão a denominação de captura de nêutrons. Agora, imagine que fosse possível que esses três nêutrons pudessem colidir com outros três átomos de urânio, gerando três novas reações que teriam como produto nove nêutrons. Pois bem, o desenvolvimento da ciência tornou possível tal situação, a qual chamamos de reação em cadeia e é a chave para a produção da bomba atômica, que liberaria uma enorme quantidade de energia, com um alto poder de destruição num raio de alguns quilômetros.

No âmbito da segunda guerra mundial, os cientistas envolvidos com o projeto Manhattan conseguiram desenvolver esse processo e fabricar a bomba atômica, ao contrário dos cientistas a serviço de Hitler que não tiveram o mesmo êxito. O desfecho disso tudo foram os lançamentos de duas bombas atômicas nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, que obrigaram os japoneses a se render, pondo um fim à guerra.

Essa energia total relativística pode ser subdividida em duas outras formas de energia: a de repouso e a energia cinética relativística. Vejamos a seguinte situação:

Suponha que um corpo com massa de repouso m_0 está viajando com velocidade v em relação a um determinado referencial. Podemos dizer que sua energia total é a dada por $E = E_0 + E_{cin}$, onde E_0 é a energia de repouso dada por m_0c^2 e E_{cin} é a energia cinética relativística. Podemos escrever a expressão anterior como $E = m_0c^2 + E_{cin}$. Lembramos que m_0 independe da sua velocidade. Pela equivalência entre massa e energia também podemos dizer que $E = m.c^2$, sendo m a massa relativística, e essa, por sua vez, dependente da velocidade do corpo.

Portanto, $m.c^2 = m_0.c^2 + E_{cin}$

Energia Cinética Relativística

A energia cinética relativística assim como a energia cinética clássica são alteradas com a variação da velocidade do corpo. Mas, por outro lado, para altas velocidades só a energia cinética relativística leva em consideração a variação da massa (massa relativística). Pela energia total relativística, chegaremos à expressão da energia cinética relativística. Vejamos:

$E = E_0 + E_{cin}$, mas $E = m.c^2 = \gamma.m_0.c^2 = \gamma.E_0$, então

$\gamma.E_0 = E_0 + E_{cin} \rightarrow E_{cin} = \gamma.E_0 - E_0 \rightarrow E_{cin} = E_0(\gamma - 1)$.

É possível provar matematicamente que para baixas velocidades $v < 0,1c$, a energia cinética relativística reduz-se a $E = m_0.v^2/2$, ou seja, a mesma expressão da energia cinética clássica. Isso ocorre porque a baixas velocidades os efeitos relativísticos são desprezíveis, já que o fator de Lorentz $\gamma = 1$. Segue a demonstração:

Para fazer tal demonstração, é necessário lembrar do seguinte binômio de Newton:

$(1 + x)^n = 1 + nx$ ou $(1 - x)^n = 1 - nx$, para $|x| \ll 1$

Queremos determinar o valor de γ admitindo que $v/c \ll 1$, já que v é muito menor que c . Aplicando o binômio de Newton nas condições consideradas e fazendo $x = v/c$, teremos:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$$

mas $\frac{v}{c} \ll 1$, então

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} = \left[1 - \left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2}\right)\right] = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

$$E_{\text{cin}} = E_0 (\gamma - 1) = E_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right) = E_0 \frac{v^2}{2c^2} = m_0 \cancel{c^2} \cdot \frac{v^2}{2\cancel{c^2}} = \boxed{\frac{m_0 v^2}{2}}$$

Essa demonstração, apesar de uma certa exigência algébrica, vem mais uma vez ratificar a redução da Física Einsteiniana à Física Newtoniana para os casos de baixa velocidade, fato que no nosso entender traz uma certa segurança para os alunos diante de um cenário transgressor de uma nova Física que surge diante de seus olhos. Reduzir a expressão $E_{\text{cin}} = E_0(\gamma - 1)$ à $E_{\text{cin}} = M_0 \cdot v^2/2$, aciona algo de sua familiaridade para a acomodação de uma nova expressão para a energia cinética.

Quantidade de Movimento Relativística

Assim como a energia cinética, a quantidade de movimento de um corpo também é uma grandeza que depende de sua massa. Portanto, se esse corpo estiver com uma velocidade que tenha que se considerar os efeitos relativísticos, a expressão para a quantidade de movimento relativística fica diferente da expressão da quantidade de movimento clássica. Vejamos:

$$Q = m \cdot v \text{ ou } Q = \gamma m_0 \cdot v$$

Podemos relacionar a energia relativística com a quantidade de movimento relativística. Elevando-se ao quadrado as expressões dessas duas grandezas, isolando-se a velocidade em uma delas e substituindo na outra, teremos:

$$Q^2 = \frac{m_0^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$Q^2 = \frac{m_0^2 v^2}{c^2 - v^2}$$

$$Q^2 = \frac{m_0 v^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

$$Q^2 c^2 - Q^2 v^2 = m_0 v^2 c^2$$

$$Q^2 c^2 = m_0 v^2 c^2 + Q^2 v^2$$

$$Q^2 c^2 = v^2(m_0^2 c^2 + Q^2)$$

$$v^2 = \frac{Q^2 c^2}{m_0^2 c^2 + Q^2}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^4}{c^2 - v^2} = \frac{m_0^2 c^6}{c^2 - v^2}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^6}{c^2 - \frac{Q^2 c^2}{m_0^2 c^2 + Q^2}}$$

$$E^2 = \frac{m_0^2 c^6}{\frac{m_0^2 c^4 + \cancel{Q^2 c^2} - \cancel{Q^2 c^2}}{m_0 c^2 + Q^2}}$$

$$E^2 = \frac{\cancel{m_0^2} c^{\cancel{6}^2} \cdot (m_0^2 c^2 + Q^2)}{\cancel{m_0^2} c^4} ..$$

$$E^2 = m_0^2 c^4 + Q^2 c^2$$

$$\boxed{E^2 = (m_0 c^2)^2 + (Q \cdot c)^2}$$

Trataremos agora da Relatividade Geral lançada em 1915, aproximadamente 10 anos depois da Relatividade Restrita, ainda que numa análise mais qualitativa e

superficial, levando em consideração o alto nível de complexidade da teoria e o fato de ser um conteúdo voltado para o Ensino Médio.

Enquanto a Relatividade Restrita aplicava-se a determinados fenômenos físicos em relação a referenciais inerciais, ou seja, referenciais em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, a Relatividade Geral aplicava-se aos referenciais acelerados. Foi uma nova teoria da gravitação, mais de três séculos depois da famosa Teoria da Gravitação Universal de Newton, uma espécie de generalização da relatividade de 1905. Segundo Robson et al. (2005, p.72):

A noção inicial de como generalizar a relatividade ocorreu a Einstein em 1907 e faz lembrar a observação de Newton da queda da maçã, embora mais complicado de entender. 'Eu estava sentado numa cadeira em meu escritório de patentes em Berna. De repente, veio-me uma ideia: se um homem despencar em queda livre, não sentirá o seu peso'. Se você saltasse de um telhado ou, melhor ainda, de um penhasco, não sentiria a gravidade. 'Fiquei pasmo. A simples experiência de tal raciocínio causou em mim uma profunda impressão. Foi o que me levou à teoria da gravidade", escreveu mais tarde, rotulando-a de "ideia mais feliz de minha vida'

Einstein usou uma ideia antiga, conhecida como princípio da equivalência para introduzir a gravidade na relatividade. Basicamente esse princípio diz que um campo gravitacional uniforme equivale a um referencial acelerado. Podemos exemplificar da seguinte forma:

Suponha dois experimentos realizados dentro de um elevador. No primeiro experimento imaginemos o elevador subindo em movimento retilíneo e uniforme numa região de campo gravitacional constante $g = 9,8\text{m/s}^2$. A seguir, uma pessoa que está dentro do elevador solta um objeto, cujo movimento descrito será o de uma queda livre com uma aceleração igual a $g = 9,8\text{m/s}^2$. No segundo experimento o elevador estaria subindo em movimento uniformemente acelerado com uma aceleração igual a $9,8\text{m/s}^2$, numa região livre de ações gravitacionais. A seguir, uma pessoa dentro do elevador também solta um objeto, cujo movimento também será descrito como um corpo em queda com aceleração de $9,8\text{m/s}^2$. A mesma descrição sobre o movimento do objeto nessas duas situações, demonstra a equivalência entre um campo gravitacional uniforme e um sistema acelerado.

Na ocasião de uma palestra em Viena, tornando público o princípio da equivalência, mesmo antes de publicar a teoria da Relatividade Geral, Einstein sugeriu que o público imaginasse uma situação em que ele insinuava a influência da gravidade sobre um feixe de luz, uma das novidades absolutamente transgressoras

da nova teoria que estava por vir. Mas aí surge uma pergunta inevitável: como a luz poderia sofrer ação gravitacional? Disse Einstein: (EINSTEIN apud ROBSON et al., 2005,p.74)

Um feixe de luz carrega energia e energia possui massa' - conforme atestado na sua equação $E = mc^2$. 'Um feixe de luz se curvará em um campo gravitacional uniforme precisamente como um corpo se for atirado horizontalmente com a velocidade da luz'.

Contudo, a gravidade terrestre é muito pequena para desviar a luz de forma minimamente perceptível e Einstein estava ciente disso, mas não abria mão dessa ideia mesmo não tendo ainda sido comprovada, circunstância que se repetiria muitas vezes ao longo de sua brilhante carreira científica. Essa influência gravitacional sobre a luz antecipada por Einstein nessa conferência só viria a ser comprovada experimentalmente no evento do eclipse solar de 1919, como já dito na seção anterior.

Assim, como Newton achava que para um corpo sofrer uma atração gravitacional teria que ser dotado de uma massa, concluíra então que a luz não poderia ser atraída pela gravidade por não possuir massa. Levando em consideração que Newton viveu no século XVII, era razoável pensar dessa forma.

Mas, para introduzir a gravidade na relatividade, Einstein admitiu que o espaço-tempo era curvo e não plano como se achava anteriormente. A explicação é complexa, mas para tentar entender a ideia de Einstein iremos analisar o que ele chamou de paradoxo do carrossel: quando esse brinquedo está em movimento, todos os pontos do carrossel têm a mesma velocidade angular, mas a velocidade linear, que depende do raio, aumenta quanto mais afastado o ponto estiver do centro do carrossel. Se hipoteticamente ele estiver girando com uma velocidade altíssima, uma fração razoável da velocidade da luz, teríamos que considerar os efeitos relativísticos como a contração do comprimento, que aconteceria em maior intensidade nos pontos mais externos, por terem maior velocidade, alterando a forma do carrossel, que deixaria de ser plano para ser curvo.

Partindo deste exemplo, por analogia, Einstein extrapolou para uma generalização de um espaço-tempo curvo, com o apoio de uma nova geometria do matemático Bernhard Riemann. Este espaço-tempo curvo seria criado por uma ação gravitacional, que geraria uma curvatura cada vez maior quanto maior fosse a intensidade desse campo gravitacional. Estava sendo abandonada a ideia

newtoniana da gravidade como uma interação entre corpos, por meio de forças de atração gravitacional trocadas à distancia entre eles, por ação e reação. Segundo Hawking & Mlodinow (2005, p 47):

A Teoria da Relatividade Geral de Einstein baseia-se na revolucionária sugestão de que a gravidade não é uma força como as demais forças, mas uma consequência do fato de o espaço-tempo não ser plano, como se admitia anteriormente. Na relatividade geral, o espaço-tempo é curvo, ou 'dobrado', pela distribuição da massa e da energia dentro dele.

Sabendo do alto nível de complexidade de sua teoria e, ao mesmo tempo, da necessidade de se fazer entender para pessoas comuns, Einstein tinha uma genial habilidade de utilizar situações hipotéticas da vida cotidiana para fazer analogias com a sua teoria. Já citamos algumas anteriormente e quanto à relação da gravidade com o espaço-tempo curvo, Einstein teve a sacada de associar essa complexa relação com uma situação em que uma bolinha de gude seria lançada numa cama elástica com uma bola pesada sobre a cama. A presença da bola pesada gera uma região de deformação na cama elástica e se a bolinha de gude for lançada em direção a essa região seguirá uma trajetória curva em torno da bola antes de atingi-la. Por analogia, a bola representaria a matéria que gera o espaço-tempo curvo, este último representado pela região deformada da cama elástica, responsável por fazer a bolinha girar em torno da bola pesada, não havendo, portanto, a tão famosa e misteriosa força de atração gravitacional descrita pela Lei da Gravitação Universal de Newton, considerada por muitos a quarta Lei de Newton.

A teoria newtoniana sobre gravidade estava em apuros, mas não podemos cometer anacronismos e achar que Newton teria perdido seu grande mérito com Einstein, pois é imperativo afirmar que o físico inglês viveu três séculos antes de Einstein, que o considerava o cientista mais brilhante da história da Ciência.

A ideia da gravidade como a manifestação da deformação do espaço-tempo também serve para explicar as órbitas dos astros em torno de outros na dinâmica do universo.

À luz da Aprendizagem significativa de Ausubel, para tratarmos da Relatividade Geral no tocante à nova ideia de um espaço-tempo curvo em detrimento da força gravitacional à distância, o desafio é substituir a já abstrata e nada intuitiva interação gravitacional à distância de Newton pela deformação do espaço trazido por Einstein. Entendemos que a analogia com a esfera numa cama

elástica é uma simples e eficaz estratégia para a reorganização do conceito dos alunos sobre gravidade

Agora, iremos tratar da importante e decisiva participação de Einstein para o desenvolvimento da teoria Quântica, que ao lado da Física Relativística, compunha a chamada Física Moderna que surgia no início do século XX. Essa participação refere-se mais especificamente à explicação do chamado efeito fotoelétrico, cujos resultados experimentais destoavam das previsões clássicas, a despeito do já que havia acontecido com outros experimentos que motivaram a criação da teoria da relatividade.

4.3. Aula de efeito fotoelétrico

Continuando com uma linguagem acessível aos alunos do Ensino Médio, mostraremos como Einstein, também em 1905, genialmente utiliza-se das ideias que surgiram 5 anos antes, com Max Planck, que deu origem à teoria Quântica, para explicar os intrigantes resultados experimentais do efeito fotoelétrico. Ao mesmo tempo iremos mostrar como esse advento reacendeu a discussão que parecia encerrada sobre a natureza da luz.

O efeito fotoelétrico surgiu casualmente com Hertz, que tentava verificar a existência das ondas eletromagnéticas descritas por Maxwell. O experimento consistia no seguinte:

Fazia-se vácuo numa ampola que tinha internamente duas placas paralelas, como as de um capacitor plano e que eram previamente carregadas ao serem conectadas às placas de um gerador. Posteriormente, incidia-se uma radiação eletromagnética na placa negativa que fazia surgir uma corrente elétrica no circuito, acusado pelo amperímetro. Curiosamente, quando cessava a incidência da radiação eletromagnética, não se registrava mais corrente no amperímetro. Hertz concluiu que os elétrons da placa negativa, ao sofrerem a incidência de uma radiação eletromagnética, absorviam energia suficiente para serem expulsos da placa, migrando para a placa positiva.

Este fato gerava uma redução da carga elétrica das duas placas, já que a placa negativa perdia elétrons e a placa positiva, ao recebê-los, tinha algumas de suas cargas positivas anuladas. Esta redução de carga nas placas diminuía a

diferença de potencial entre elas, ficando menor do que a diferença de potencial do gerador. Para recuperar a ddp nas placas e voltar a ser igual à do gerador, este repõe as cargas perdidas nas placas, enviando elétrons para a placa negativa ao mesmo tempo em que retira elétrons da placa positiva, gerando uma corrente no circuito, acusado pelo amperímetro.

Porém, coube ao físico Philipp Von Lenard, um dos desafetos e algozes de Einstein, a investigação experimental do fenômeno e o levantamento de suas características que intrigaram a comunidade científica.

Sabemos que as ondas eletromagnéticas envolvem uma vasta zona de frequências, que vão das menores, como as ondas longas de rádio, às maiores como raio X e raios γ . Dentro dessa extensa faixa de frequências temos o espectro da luz visível, que vai do vermelho à violeta no sentido crescente da frequência. Vamos supor que Lenard tivesse a sua disposição qualquer cor da faixa da luz visível, e que para qualquer frequência ele pudesse alternar entre uma luz de baixa ou alta intensidade. Usando o mesmo aparato do experimento de Hertz, Lenard utilizou inicialmente luz vermelha com baixa intensidade sobre uma das placas feita de um determinado material. O resultado foi que nenhuma corrente foi detectada no amperímetro, mesmo com um aumento na intensidade da luz que incidiu por um tempo prolongado. Mesmo usando luz com maiores frequências chegando até a luz verde e com altas intensidades e por períodos suficientemente longos, não se observava nenhuma corrente elétrica no amperímetro.

Mas, quando Lenard finalmente usou uma frequência referente à luz azul, mesmo com baixa intensidade, surgiu imediatamente uma corrente elétrica no amperímetro, indicando que, ao contrário das cores de frequências mais baixas, a luz azul havia conseguido retirar elétrons da placa. Lenard também observou que ao aumentar a intensidade da luz azul, aumentava também a intensidade da corrente no amperímetro, além do fato de que todas as outras frequências a partir do azul incidentes na placa também eram capazes de retirar elétrons da placa, ainda que com baixas intensidades. Concluiu-se ao final do experimento que, para aquele material de placa utilizado, luz com frequências menores que a da luz azul não retirava elétrons da placa, independente da intensidade utilizada, enquanto que luz azul ou com frequências superiores eram capazes de arrancar elétrons da placa, independente da intensidade aplicada, cujo aumento, nesse último caso, era apenas capaz de aumentar a corrente registrada no amperímetro.

Essas observações registradas por Lenard eram absolutamente conflitantes com as previsões da Física Clássica para o que deveria acontecer no efeito fotoelétrico. Foi aí, que surgiu a genialidade de Einstein para explicar fisicamente os resultados obtidos nesse experimento, fazendo uso de fundamentos da teoria Quântica. Iremos confrontar essas previsões clássicas com os resultados do experimento e mostrar como Einstein encontrou a solução para esse impasse.

Imaginemos, por exemplo, uma panela com água que precisa receber 2000 calorias para que a água comece a ferver. Se tivermos um aquecedor que forneça 40 calorias por segundo, a água não irá ferver imediatamente pois levará no mínimo 50 segundos para começar a ferver. Situações como essa fizeram com que a Física Clássica adotasse a energia eletromagnética como algo contínuo e acumulativo, pois foi necessário um certo intervalo de tempo para que a energia recebida continuamente pela água se acumulasse até chegar ao seu ponto de ferver.

Mas, este comportamento clássico não é observado no caso da emissão de elétrons pela placa, os chamados fotoelétrons, afinal de contas incidiu-se luz vermelha em grande intensidade sobre a placa e por um longo período de tempo, que deveria em algum momento arrancar elétrons, com a ideia de que a energia estaria sendo continuamente acumulada nessa placa. Porém, nada disso aconteceu e para derrubar de vez com a ideia de uma energia contínua, ao incidir-se luz azul de baixa intensidade e por um ínfimo intervalo de tempo os fotoelétrons foram emitidos pela placa.

Outro fato curioso e conflitante com as previsões clássicas foi que o aumento de intensidade da luz azul não alterou a energia cinética dos elétrons, apenas aumentou a corrente registrada no amperímetro, ou seja, aumentou a quantidade de elétrons emitidos por segundo, mas sem alterar sua energia cinética. Achava-se à época que o aumento da intensidade da luz aumentaria a energia recebida pela placa, o que teria como consequência aumentar a energia cinética dos elétrons emitidos. E para colocar a Física Clássica definitivamente em apuros, ao aumentar a frequência da luz incidente, por exemplo, de luz azul para luz violeta, porém sem alterar a intensidade da luz, Lenard observou que a energia cinética dos elétrons aumentava mas sem alteração na corrente elétrica registrada no amperímetro.

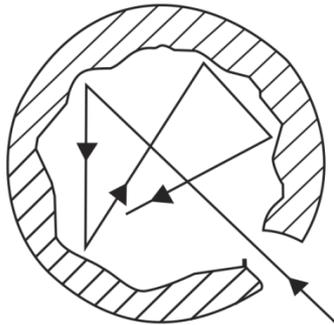
Para explicarmos como Einstein utilizou a teoria quântica para explicar e resolver o problema do efeito fotoelétrico, precisamos apresentar breve e

sucintamente a essência dessa teoria, que está na quantização de energia proposta por Planck em 1900, a partir da radiação do corpo negro.

Radiação do Corpo Negro e Quantização de Energia

Corpo negro é um sistema ideal que absorve 100% da radiação incidente. No mundo real uma boa aproximação de um corpo negro é o interior de um corpo oco, como ilustra a figura abaixo:

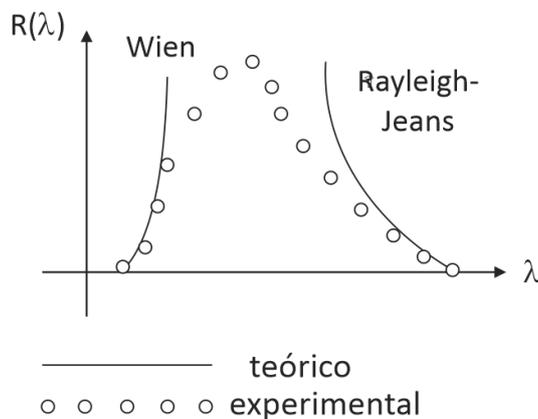
Figura 4 - Figura ilustrativa de um corpo negro



Fonte: Brito, 2003.

Resultados experimentais mostraram que a emissão de radiação desses corpos aquecidos, seguem um comportamento universal, independente do material de que são feitos. O gráfico pontilhado abaixo mostra a distribuição de intensidade da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda dessa radiação.

Gráfico 2 - Distribuição de intensidade da radiação em função do comprimento de onda



Fonte: Brito, 2003.

Porém, para não fugir à regra quanto a principal motivação para o surgimento de novas teorias, as previsões teóricas clássicas de cientistas renomados divergiam dos resultados experimentais que iam aos poucos surgindo, como esse da radiação do corpo negro. As formulações matemáticas propostas por Wien concordava com o resultado experimental apenas para pequenos comprimentos de onda, enquanto que as formulações de Rayleigh e Jeans estava em consonância com o experimento para grandes comprimentos de onda, como se observa no gráfico acima.

Nesse contexto surge Max Planck, que observando os resultados experimentais obtidos, criou uma expressão matemática da radiação em função do comprimento de onda que concorda com o experimento, tanto para pequenos quanto para grandes comprimentos de onda de acordo com gráfico abaixo. Mas, para chegar a essa expressão – que não exporemos aqui pelo alto nível de complexidade matemática- Planck teve que fazer uma consideração que se opunha à passiva e inquestionável ideia de que a radiação eletromagnética era um continuum de energia. Uma quebra de paradigma a despeito do que aconteceria 5 anos depois com a relatividade de Einstein. Planck tomou por hipótese que a energia eletromagnética ocorria não de forma contínua, mas descontínua, granulada, em pacotes discretos chamados de quanta, cuja energia era dada por $E = n.h.f$, onde n é um número inteiro, h é a constante universal de Planck dada por $6,626 \cdot 10^{-34}$ j.s ou $4,14 \cdot 10^{-14}$ eV.s, e f é a frequência da radiação emitida. A radiação eletromagnética era emitida em valores discretos e múltiplos de hf . Para $n = 1$ teríamos o pacote mínimo hf , chamado de quantum, que é o singular de quanta.

Na verdade o próprio Planck não estava certo de sua hipótese, tendo-a usado como um mero artifício matemático para chegar à expressão teórica compatível com o resultado prático.

Um dos cinco trabalhos científicos publicados por Einstein em 1905, foi sobre o efeito fotoelétrico, que viria a render-lhe o Prêmio Nobel de Física de 1921 outorgado no dia 10 de novembro de 1922. Intrigado com as estruturais divergências entre os resultados experimentais e as previsões da Física vigente, e utilizando-se da teoria quântica iniciada com Planck, Einstein propôs um trabalho que explicava fisicamente e de maneira *convincente* todas as observações anteriores da experiência de Lenard.

Quando dizemos que a explicação se deu de maneira convincente, tal como fizemos alusão no parágrafo imediatamente anterior, deveremos, por justiça, enfraquecer um pouco nossas ênfases com tintas demasiadamente apologéticas, pois, a bem da verdade histórica, a aceitação da teoria einsteiniana do efeito fotoelétrico no seio da comunidade científica não foi nem tão imediata assim e nem mesmo foi destituída de controvérsias. Após 1905, ainda tínhamos que esperar pelo menos uma década para que os famosos experimentos conduzidos por Millikan viessem a comprovar a fórmula de Einstein para o efeito fotoelétrico e até mesmo Planck, admirador de Einstein, quando o convidou em 1913 para ocupar uma vaga na Academia Prussiana de Ciências, ainda tinha, para dizer o mínimo, severas restrições à explicação de Einstein.

Havia, o peso da teoria do gatilho de Lenard que era detentor do Prêmio Nobel de Física de 1905 e as ideias de Lenard não se compatibilizavam com a teoria einsteiniana do efeito fotoelétrico.

A física paraibana Joana Menara Souza Soares escreveu em sua dissertação de mestrado defendida na Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, em 2016 que à luz da teoria de Lennard o que acontecia era o seguinte:

No entanto, Lenard era incapaz de desenvolver condições experimentais adequadas para determinar qualquer variação do efeito. Basicamente, argumentou que uma vez que os elétrons são ejetados, sua energia deve ser originária de dentro do próprio átomo, então, tudo que ocorre é o desencadeamento da liberação de elétrons; ou seja, o próprio átomo possui essa energia internamente e a luz incidente funciona como um gatilho, liberando esse elétron. Visto que a estrutura do átomo não era conhecida até aquele momento, sua explicação foi razoável, mesmo que não fosse muito detalhada, como nos aponta [...] (MENARA, Dissertação, 2016, p. 24)

Na teoria de Einstein, -diferentemente de uma suposta liberação de energia interna mediante um gatilho tal como foi sustentada pela teoria de Lenard-, a energia é carregada pelo próprio grânulo de luz, hoje diríamos fóton, e deste modo o efeito se dá quase instantaneamente e não se constitui em gatilho para a liberação de nenhuma energia interna.

Por ocasião das comemorações dos 60 anos da famosa explicação einsteiniana do efeito fotoelétrico foi publicada em 1965 na revista estadunidense *American Journal of Physics* alguns breves comentários de Arons & Peppard (ARONS & PEPPARD, 1965, p. 367) logo seguidos de uma tradução em língua inglesa do artigo de Einstein de 1905 (ver EINSTEIN, 1965, p.367-374).

Seja Φ a função trabalho ou potencial de ionização do metal de que é feita a placa utilizada no experimento, que corresponde à energia mínima para arrancar um fotoelétron da superfície dessa placa. Fica claro que Φ depende do material de que é feita a placa e que a radiação incidente em cada elétron tem que ter, no mínimo, uma quantidade de energia igual à função trabalho, para que o elétron seja emitido pela placa.

Chamando de fóton a partícula da luz que transporta um pacote discreto de energia $E = h.f$ e que cada fóton ataca individualmente um elétron, teríamos duas possibilidades:

1. Cada fóton não tem energia suficiente para ejetar um elétron

$$E = h.f < \Phi$$

Por conter uma energia inferior àquela necessária para retirar o elétron da placa, o fóton não é absorvido pelo átomo do metal e será refletido. Achava-se até então que o átomo deveria absorver energia continuamente até uma quantidade que fosse necessária para ejetar o elétron. Segundo Einstein, o fóton só seria absorvido pelo átomo se tivesse energia suficiente para ejetar o elétron do átomo, caso contrário o átomo não o absorveria, refletindo-o de volta.

Observe que a energia de um fóton de luz é diretamente proporcional à frequência da luz. Portanto quanto menor a frequência menores são as chances do fóton conseguir ejetar um elétron do átomo, justificando o insucesso de Lenard em retirar elétrons da placa com a utilização de luz vermelha, que tem menor frequência que as outras cores do espectro visível.

1. Cada fóton tem energia suficiente para ejetar um elétron.

$$E = h.f > \Phi$$

Por conter uma energia superior àquela necessária para retirar o elétron da placa, o fóton é absorvido pelo átomo do metal e o fotoelétron é ejetado. Depois de subtraído a função trabalho Φ da energia $h.f$ do fóton, o excedente de energia manifesta-se na forma de energia cinética do fotoelétron ejetado. Diante do exposto, por conservação de energia, temos a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico:

$$E_{\text{cin}} = h.f - \Phi, \text{ onde } E_{\text{cin}} \text{ é a energia cinética do fotoelétron ejetado.}$$

No caso do experimento de Lenard os fotoelétrons só foram ejetados quando foi utilizada luz azul, pois tem uma frequência grande o suficiente para gerar um fóton azul de energia $h.f$ maior que a função trabalho, condição indispensável para a ejeção dos elétrons. Observando a equação acima podemos concluir que se

aumentarmos a frequência dos fótons incidentes, como a função trabalho é constante, aumentará a energia cinética dos fotoelétrons emitidos pela placa. Como exemplo, se usarmos luz violeta em vez de luz azul, os fotoelétrons ejetados pelos fótons violetas terão maior energia cinética do que aqueles ejetados pelos fótons azuis.

E qual seria a explicação de Einstein para os efeitos verificados com a alteração da intensidade da luz?

1. Cada fóton não tem energia suficiente para ejetar um elétron. Nessa condição, a alteração da intensidade da radiação emitida torna-se inócua e independe do tempo de incidência, visto que essa ação não altera a frequência da radiação, não mudando a energia $h.f$ do fóton incidente, que continuaria sendo refletido; apenas alteraria a quantidade de fótons que iriam atacar os elétrons. Nesse contexto é interessante lembrar que cada fóton atinge um elétron apenas, independentemente da quantidade de fótons incidentes na placa.
2. Cada fóton tem energia suficiente para ejetar um elétron. Se alterarmos a intensidade da radiação emitida sem alterar a frequência da luz incidente, mudará a quantidade de fótons que atacarão os elétrons, mas não alterará a energia $h.f$ de cada fóton, o que também não faz mudar a energia cinética de cada elétron ejetado. Se a intensidade da radiação for aumentada, a quantidade de fotoelétrons emitidos por segundo será maior, justificando o aumento da corrente elétrica registrada no amperímetro, já que a corrente mede a quantidade de carga que passa por segundo. Porém se aumentarmos a frequência da radiação emitida sem alterarmos a intensidade dessa radiação, apesar dos fotoelétrons ejetados aumentarem sua energia cinética, a quantidade deles que passará por segundo pelo amperímetro continuará a mesma, não alterando a corrente registrada.

Não se sabe exatamente o material da placa utilizada por Lenard, portanto tomamos apenas hipoteticamente que a partir da luz azul ele teria conseguido retirar os fotoelétrons da placa. Vamos supor que a placa utilizada por Lenard tenha sido de potássio, para ratificarmos o exposto acima. Esse material tem função trabalho Φ

= 2eV (1eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J). Calculemos agora a energia portada por cada fóton para as cores vermelha ($4,34 \cdot 10^{14}$ Hz), azul ($6,01 \cdot 10^{14}$ Hz) e violeta ($7,24 \cdot 10^{14}$ Hz):

$$E = h.f = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s} \times 4,34 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 1,8 \text{ eV (vermelha)}$$

$$E = h.f = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s} \times 6,01 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 2,5 \text{ eV (azul)}$$

$$E = h.f = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s} \times 7,24 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 3,0 \text{ eV (violeta)}$$

Como o fóton de luz vermelha tem uma energia de 1,8 eV, ou seja, menor que o valor da função trabalho potássio, os elétrons não serão ejetados da placa. Como já foi dito, o aumento da intensidade da luz seria irrelevante para a ejeção dos elétrons, pois individualmente os fótons permaneceriam com a mesma energia, só aumentaria a quantidade de fótons por segundo que atacariam os elétrons.

Como o fóton de luz azul tem uma energia de 2,5 eV, ou seja, maior que o valor da função trabalho potássio, os elétrons serão ejetados da placa. Usando a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, podemos calcular a energia cinética com que os fotoelétrons serão ejetados da placa:

$$E_{\text{cin}} = h.f - \Phi = 2,5\text{eV} - 2,0\text{eV} = 0,5\text{eV}$$

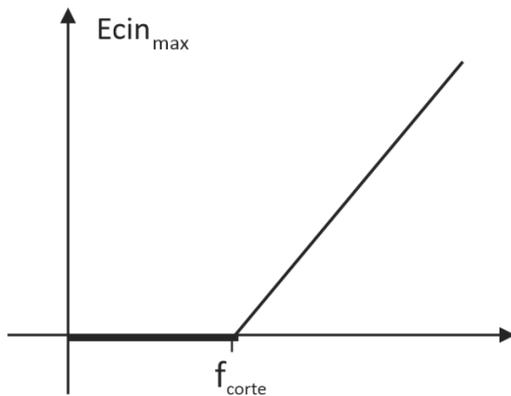
Se aumentarmos a intensidade da luz azul cada fotoelétron continuará saindo da placa com a mesma energia cinética de 0,5 eV, aumentando apenas a quantidade que irá escapar da placa por segundo, flagrado pelo aumento da corrente elétrica no amperímetro. Se quisermos aumentar a energia cinética dos fotoelétrons precisamos aumentar a frequência da luz incidente, mudando para a luz violeta. Vejamos:

$$E_{\text{cin}} = h.f - \Phi = 3,0\text{eV} - 2,0\text{eV} = 1,0\text{eV}.$$

Cada fóton de luz violeta será ejetado com uma energia cinética superior ao fóton de luz azul. Portanto só o aumento da frequência da radiação incidente pode aumentar a energia cinética do fotoelétron emitido.

Se plotarmos o gráfico da energia cinética dos fotoelétrons em função da frequência da radiação incidente, segundo a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, teremos

Gráfico 3 - Energia cinética dos fotoelétrons em função da frequência



Fonte: Brito, 2003.

Observe que para frequências iniciais a energia cinética é nula, certamente pelo fato de que, para essas frequências a energia do fóton é menor do que a função trabalho, o que impossibilita a ejeção dos elétrons. A partir da chamada frequência de corte, os elétrons passam a ser ejetados e o gráfico ganha um comportamento linear. A frequência de corte é aquela para a qual a energia $h.f$ do fóton é igual ao valor da função trabalho e a energia cinética é nula. Vejamos:

$$h.f = \Phi$$

$$f_{corte} = \Phi/h$$

Como a equação $E_{cin} = h.f - \Phi$ é do 1º grau, por analogia podemos dizer que a constante de Planck h é o coeficiente angular da reta, que, como sabemos, é a tangente do ângulo de inclinação da reta em relação à horizontal. Ora, mas como a constante de Planck tem um valor único para quaisquer condições, independente do material da placa, teoricamente, todas as retas teriam a mesma inclinação, só mudando a frequência de corte que, por depender da função trabalho, dependerá do material de que é feita a placa. Esse comportamento teórico relatado por Einstein foi comprovado experimentalmente pelo físico norte-americano Robert Andrews Millikan, em 1916, onde repetiu a experiência para diferentes materiais, chegando sempre ao mesmo coeficiente angular da reta, cujo valor foi o mesmo da constante de Planck. Mais uma das inúmeras situações em que Einstein antecipava-se à realidade dos eventos físicos descrevendo-os anos antes de serem praticados experimentalmente e comprovados.

Dentro da contextualização histórica que estará presente em todas as aulas das teorias einsteinianas, entre outros fatos, ressaltaremos a desconfiança do meio acadêmico com a explicação quântica de Einstein para o efeito fotoelétrico, inclusive

do próprio Planck, o pai da teoria Quântica, que não estava certo de sua própria teoria.

A explicação física do efeito fotoelétrico proposta por Einstein fazendo uso da teoria quântica reacendeu numa discussão muito antiga: a natureza da luz. Desde a época de Newton já existiam especulações sobre que tipo de entidade física seria a luz. O próprio físico inglês foi o pai da teoria corpuscular que apregoava que a luz era uma partícula ou corpúsculo, questionada anos depois por Christiaan Huygens (1629-1695), físico e astrônomo holandês e Robert Hooke, este último um arqui-inimigo de Newton, que defendiam a natureza ondulatória da luz. Em princípio a teoria ondulatória não apresentava credibilidade suficiente para se contrapor à teoria corpuscular, especialmente por duas razões.

A primeira devia-se ao peso acadêmico de um dos físicos mais importantes da história da Ciência (Isaac Newton) que estava por trás da teoria corpuscular, muito mais prestigiado do que Huygens e Hooke, já que essas questões sempre tiveram relevância no mundo acadêmico, inclusive nos dias atuais.

A segunda, essa com um embasamento técnico, dizia respeito ao fato de, até então ninguém havia conseguido provar experimentalmente que a luz sofre fenômenos de difração e interferência, que são puramente ondulatórios e que provaria que a luz seria uma onda. Até Newton falecer ninguém havia conseguido induzir experimentalmente esses fenômenos com a luz. Apesar de haver pequenas evidências de um comportamento supostamente ondulatório da luz, como a formação de cores em manchas de óleo e bolhas de sabão, Newton prendia-se à propagação retilínea da luz, já que ele não alcançou a curvatura de raios luminosos ao passar por pequeníssimas aberturas, fenômeno denominado difração.

O médico e físico inglês Tomas Young (1773-1829), em 1801, com a famosa experiência da dupla fenda, consegue difratar a luz ao passar por duas minúsculas fendas e se projetar numa tela, formando uma sequência intercalada de franjas claras e escuras, um claro padrão de interferência. Apesar da experiência de Young ter ficado despercebida por mais de uma década, com o reforço de experimentos posteriores, culminando com modelo ondulatório da luz no eletromagnetismo de Maxwell, o comportamento ondulatório da luz, diante de tantos dados de corroborações e evidências experimentais, passou a ser considerado como bastante consolidado.

Sabemos que no ambiente acadêmico, a autoridade, o prestígio e o poder de influência são objetos de grande cobiça por parte dos cientistas. A grande reputação de Newton que lhe conferia enorme autoridade fez com que ainda houvesse muita resistência à teoria ondulatória da luz mesmo com experimentos que revelavam a difração e a interferência da luz. Aqueles que ainda insistiam na teoria corpuscular, chegaram a argumentar que a difração acontecia pelo espalhamento das partículas de luz pelas bordas das fendas difratoras.

Muitos anos depois, com a explicação que Einstein encontrou para o efeito fotoelétrico, o mesmo reacendeu a discussão sobre a natureza da luz, que estava passivamente aceita como uma onda eletromagnética. Porém, com o efeito fotoelétrico, segundo Einstein a luz voltou a ganhar um status de corpúsculo, denominado fóton, que apesar de ter massa de repouso nula, transferia uma quantidade de movimento ao átomo para expulsar o elétron da placa. Esta quantidade de movimento do fóton foi dada por h/λ , onde λ é o comprimento de onda associada ao fóton de luz. Este comportamento duplo em que a luz pode ter um caráter ondulatório ou corpuscular, dependendo do tipo de experimento em que a submetemos, foi chamado de dualidade da luz. Mais uma contribuição genial de Einstein à teoria quântica, que ainda se encontrava na primeira fase de seu desenvolvimento. Pelo princípio da complementaridade proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr, qualquer experimento que se realize com a luz não pode revelar simultaneamente suas naturezas ondulatória e corpuscular, mas sim apenas, uma ou outra.

Uma grande e importante reviravolta consistindo em idas e vindas, marchas e contramarchas ainda haveria de se constituir e desenvolvimentos posteriores passaram a fazer parte da complexa história do dualismo onda-partícula no contexto da ainda vindoura teoria quântica durante o século XX.

A previsão clássica da ideia de energia eletromagnética é mais intuitiva e melhor aceita do que é definido pela teoria quântica, o que dificulta a correta apreensão do significado dessa grandeza que justifique os resultados experimentais do efeito fotoelétrico.

É óbvio que a água numa panela esquentando sobre uma boca de fogão acesa é uma situação que faz parte do mundo em que vivemos e que, portanto, é muito mais palpável para nossos alunos do que o universo das partículas subatômicas.

Para trabalharmos a contribuição de Einstein para a Teoria Quântica no viés da Aprendizagem Significativa de Ausubel, nosso desafio é inverter/desconstruir/reconstruir/conciliar o conceito já enraizado de energia como grandeza contínua, para uma grandeza discreta, pelo menos em nível atômico. No propósito de acionar algum subsunçor que nos sirva de suporte pretendemos falar sobre a quantização da carga elétrica, que é um múltiplo inteiro da carga elementar, análogo à energia quantizada que também é um múltiplo inteiro de $h.f$.

O desafio referido de inverter/desconstruir/reconstruir/conciliar que aqui em termos ausubelianos interpretamos como um suporte para a modificação do conhecimento anterior e, por conseguinte, a emergência de novo conhecimento, poderia também ser interpretado em termos bachelardianos à luz do desafio de superação de um obstáculo epistemológico.

Acreditamos que o assim chamado Princípio da Correspondência de Bohr seja um elemento importante para que venhamos a conceber um conhecimento posterior como uma ampliação do velho conhecimento e conciliável com este por meio de um procedimento que se constitui em um limite matemático para o qual o antigo conhecimento passa a ser compreendido como um caso particular do conhecimento novo e mais geral.

Este procedimento está imbuído de um princípio chamado de Princípio da Correspondência de Bohr e que pode ser generalizado para outros contextos.

Se desprezarmos o dado teórico de que pela eletrodinâmica uma carga acelerada emitiria energia e colapsaria no núcleo, o que estaria em contradição flagrante com a estabilidade do átomo de Hidrogênio, e insistirmos, desconsiderando tudo isso, que em uma análise do modelo do átomo de Bohr, à luz tão somente do contexto clássico, então encontramos uma expressão matemática na qual para quaisquer valores da frequência percorrendo um espectro contínuo de valores obtemos uma energia correspondente também percorrendo um espectro contínuo de valores.

No entanto, se analisarmos no contexto quântico no qual aparecem estados estacionários enumerados por inteiros (**1, 2, 3,,n,..**) para os quais as frequências emitidas correspondentes são aquelas que unicamente emergem das transições entre um estacionário e outro, então uma contradição se manifesta na comparação do resultado obtido pela teoria clássica e o resultado obtido pela velha mecânica quântica.

Bohr mostrou que quando analisamos a teoria do átomo de Bohr e estudamos o seu comportamento para o domínio de grandes números quânticos ($n \gg 1$; $s \gg 1$), então obtemos um espectro de valores de energia percorrendo um quase-contínuo o qual em ótima aproximação pode ser concebido como um contínuo.

Ao comparar as duas expressões correspondentes às duas teorias em tela, então tornamo-nos capazes de explicitar a constante de Rydberg em termos das constantes basilares da física atômica, a saber, a constante de Planck, a massa do elétron e sua carga.

Como um caso limite a teoria clássica se apresenta como um caso particular da teoria quântica de Bohr. Para maiores detalhes ver (Bastos Filho, 2003).

Recorrer ao processo histórico da discussão sobre a natureza da luz, da teoria corpuscular que dominou durante muito tempo, à ascensão da teoria ondulatória com a experiência da dupla fenda de Thomas Young e culminando com a dualidade da luz defendida por Einstein, também pode ser um caminho a ser seguido. Aceitando esse caráter corpuscular da luz, formada por fótons que ‘carregam’ pacotes discretos de energia ($h.f$) que podem ou não ser absorvidos pelos átomos, pensamos que essa estratégia poderá reacomodar o conceito de energia eletromagnética no tocante a sua quantização.

Além de desvelar uma nova forma de descrever a natureza com seus mistérios, seja pela relatividade ou quântica, Einstein foi inspirador para outros cientistas contemporâneos ou de gerações posteriores. Um exemplo disso foi que em 1924, o físico francês Louis De Broglie teve a brilhante ideia de generalizar a dualidade da luz proposta por Einstein, mas no sentido oposto, ou seja, entidades físicas que de maneira bem estabelecida pela comunidade científica de então eram concebidas como partículas, essas deveriam também possuir um comportamento ondulatório.

Pela equação $\lambda = \frac{h}{Q}$ podemos relacionar o comprimento de onda λ da onda associada a uma partícula de massa relativística m e velocidade v_p , cujo elo de ligação será a constante de Planck h . Vejamos:

$$\lambda = \frac{h}{Q} = \frac{h}{mv_p}$$

Em 1927, a teoria de De Broglie foi confirmada com uma experiência onde foi possível observar a difração de elétrons. Sabidamente os elétrons são partículas,

mas ao sofrerem difração tiveram um comportamento ondulatório. Anos mais tarde esse tipo de experimento foi repetido com átomos de sódio, de hidrogênio e de hélio, além de nêutrons.

Mas, para corpos de dimensões macroscópicas teríamos um problema. Iremos calcular o comprimento de onda de uma bola de tênis de 200g a uma velocidade de 90km/h.

$$m = 200\text{g} = 0,2\text{kg}$$

$$v = 90\text{km/h} = 25\text{m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv_p} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{0,2 \cdot 25} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{0,5} = 1,32 \cdot 10^{-33}\text{m}$$

Ora, é sabido que para haver a difração, o comprimento de onda da onda a ser difratada deve ser da mesma ordem de grandeza do diâmetro do orifício por onde a onda irá passar. Porém não existe nenhuma abertura com um diâmetro tão pequeno quanto o valor encontrado acima. Pra termos uma ideia mais clara do que estamos falando, o núcleo de um átomo é de aproximadamente 10^{-15}m . Portanto a onda associada a uma bola de tênis é simplesmente indetectável.

Com a mesma linguagem que utilizamos nessa presente seção, à luz da Aprendizagem significativa e com uma contextualização histórica pertinente à época em que a Teoria da Relatividade e a explicação de Einstein para o Efeito Fotoelétrico foram desenvolvidos, trabalharemos com nossos alunos de maneira bilateral, com a máxima participação dos mesmos, para que sejam ativos personagens de seu processo de aprendizagem.

5. ANÁLISE DOS DADOS

Esta sessão tratará da exposição e análise dos dados do trabalho de pesquisa. Realizamos uma pesquisa-ação onde o próprio autor desta dissertação foi o professor responsável por ministrar as aulas de Relatividade Restrita e Efeito Fotoelétrico, aplicar o questionário e as avaliações com os alunos, além de promover os fóruns de discussão. Como já foi relatado, os alunos tiveram acesso ao documentário Genius da Discovery Channel, além de receberem via WhatsApp o

conteúdo da 3ª sessão desta dissertação, que relata os bastidores da vida de Albert Einstein.

Embasados em todo esse espólio os alunos envolvidos na pesquisa produziram um texto relatando suas impressões sobre a experiência de serem submetidos às aulas de Física com uma contextualização histórico-crítica. Posteriormente todo esse material descrito será analisado.

Em seguida teremos a apresentação do produto educacional exigido pelo programa do presente mestrado, além das alegações finais. Como já dissemos, o trabalho de pesquisa foi realizado em duas escolas, uma de ensino público federal e a outra de ensino privado.

No IFAL (Instituto Federal de Alagoas), um dos locais onde foi realizada a pesquisa, fizemos uma seleção prévia no intuito de separar os alunos em duas turmas, 'A' e 'B', equanimemente pelo desempenho na seleção, como dissemos anteriormente. A turma 'A' teve as aulas de Relatividade e Efeito Fotoelétrico com ampla contextualização histórica, enquanto na turma B as aulas aconteceram sem qualquer abordagem histórica, a não ser o caminho percorrido por Einstein para solucionar os impasses dos resultados experimentais que surgiam à época. Posteriormente fizemos duas avaliações, uma de cada assunto, nas duas turmas.

A primeira tabela considera a média das duas notas e a segunda tabela considera apenas a maior nota. Vejamos os resultados:

Tabela 1 – Média das notas

	Notas de 0,0 a 5,0	Notas de 5,1 a 8,0	Notas de 8,1 a 10,0
Turma A	20%	40%	40%
Turma B	50%	33,3%	16,7%

Tabela 2– Maior nota

	Notas de 0,0 a 5,0	Notas de 5,1 a 8,0	Notas de 8,1 a 10,0
Turma A	12,5%	37,5%	50%
Turma B	37,5%	12,5%	50%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Apesar da turma 'A' ter tido um resultado superior à outra turma, avaliamos que o resultado não foi conclusivo quanto ao provável benefício da aprendizagem pelo apoio da abordagem histórica. Existem algumas variáveis subjetivas que poderiam estar camuflando os resultados. Discorreremos algumas delas:

- 1) O processo de seleção pode não ter permitido a divisão das turmas em alunos do mesmo nível com a devida fidelidade
- 2) A capacidade de apreensão do conteúdo tem um forte apelo na base matemática e abstração dos alunos adquiridas pregressamente.
- 3) Fora o conteúdo propriamente dito, o caminho percorrido por Einstein para resolver as contradições da Física Clássica, que foi abordado nas duas turmas, pareceu-nos estar mais fortemente ligado à tentativa de apreensão desses conteúdos, enquanto que as outras abordagens históricas pareceu-nos permear o campo da curiosidade.

Diante dessa constatação, abortamos a ideia de separação das turmas no trabalho aplicado na escola de ensino particular. Foi criada apenas uma turma que foi submetida às discussões históricas desde o início.

Vejamos as perguntas do questionário que os alunos das duas escolas responderam, incluindo aí alunos que não participaram das outras atividades do projeto.

1. Você já teve ou tem professor de Física que contextualiza a aula tratando da vida pessoal do físico envolvido no assunto abordado?
() sim () não () não sei responder
2. Você já teve ou tem professor de Física que contextualiza a aula tratando do caminho que o físico percorreu para chegar na teoria, lei ou princípio que está sendo abordado?
() sim () não () não sei responder
3. Você já teve ou tem professor de Física que contextualiza a contribuição dos cientistas que precederam àquele que é o autor da teoria, lei ou princípio que está sendo abordado?
() sim () não () não sei responder

4. Você já teve ou tem professor de Física que cita cientistas que surgiram depois da época em que o assunto foi abordado, para corrigir ou ampliar a teoria, lei ou princípio abordado?
() sim () não () não sei responder
5. Você já teve ou tem professor de Física que contextualiza a aula falando do ambiente acadêmico em que se inseria o cientista autor da teoria, lei ou princípio abordado, no tocante à política interna e à relação desse cientista com os colegas da Academia?
() sim () não () não sei responder
6. Você já teve ou tem professor de física que contextualiza a situação social, política e econômica do país ou do continente onde vivia o cientista envolvido no assunto abordado?
() sim () não () não sei responder
7. Você já teve ou tem professor de Física que contextualiza a relação sempre conflituosa entre ciência e religião vivida pelo cientista abordado no assunto dado?
() sim () não () não sei responder
8. Você acha que uma aula de Física com uma contextualização histórica pode auxiliar a apreensão do assunto abordado?
() sim () não faz diferença () pelo contrário, dificulta a aprendizagem
9. Você acha que uma aula de Física com uma contextualização histórica pode despertar seu interesse pelo assunto abordado?
() sim () não () não sei responder
10. Depois de sua participação nas aulas das teorias einsteinianas com contextualizações históricas, numere de 1 a 7, pela ordem de importância, os assuntos mais relevantes a serem abordados.
Ex: 1 – maior importância
 6 – menor importância
() vida pessoal do físico
() caminho percorrido pelo físico

- () contribuição dos cientistas anteriores
- () relacionamento com os colegas da Academia
- () situação social, política e econômica do lugar onde vivia o físico abordado
- () conflito ciência – religião vivido pelo físico abordado

Resultados:

Total de alunos que preencheram o questionário referente às perguntas de 1 a 9: 92 alunos

Tabela 2 - Pergunta 1

Sim	Não	Não sei responder
32	47	13
34,5%	51,1%	14,4%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 2 - Pergunta 2

Sim	Não	Não sei responder
69	19	4
75%	20,6%	4,4%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 3 - Pergunta 3

Sim	Não	Não sei responder
51	28	13
55,5%	30,4%	14,1%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 4 – Pergunta 4

Sim	Não	Não sei responder
47	35	10
51,1%	38,0%	10,9%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 5 – Pergunta 5

Sim	Não	Não sei responder
18	58	16
19,6%	63,0%	17,4%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 6 - Pergunta 6

Sim	Não	Não sei responder
16	63	13
17,4%	68,5%	14,1%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 7 - Pergunta 7

Sim	Não	Não sei responder
28	61	3
30,4%	66,3%	3,3%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 8 - Pergunta 8

Sim	Não	Não sei responder
69	19	4
75%	20,7%	4,3%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 9 - Pergunta 9

Sim	Não	Não sei responder
74	8	10
80,4%	8,7%	10,9%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Com relação à resposta à primeira pergunta, conferimos que a ampla maioria da resposta foi 'Não': o que pode indicar desde a falta de interesse dos professores em relatar a vida do cientista em voga, a falta de conhecimento desses professores sobre tal assunto.

Com relação às respostas à segunda e à terceira perguntas, conferimos que a ampla maioria da resposta foi 'Sim': o que vemos com entusiasmo, pois o relato do caminho percorrido pelo físico em questão e a contribuição dos cientistas anteriores têm importância para o processo de aprendizagem.

Com relação à resposta à quarta pergunta, o 'Sim' superou o 'Não', mas com uma margem menor do que nas respostas anteriores. Mesmo assim nos surpreendeu pois julgávamos que a evolução *a posteriori* das teorias físicas abordadas no Ensino Médio seria pouco explorada pelos professores.

Com relação à resposta à quinta pergunta, o 'Não' superou o 'Sim' com uma ampla margem: o que provavelmente indica o escasso conhecimento dos professores a respeito do ambiente acadêmico em que se insere o físico em questão.

Com relação à resposta à sexta pergunta, o 'Não' superou o 'Sim' também com uma ampla margem: o que pode indicar a quase ausente interdisciplinaridade da Física com as áreas de Ciências Humanas nas escolas secundárias. A importância desse intercâmbio entre as diferentes áreas do conhecimento foi inclusive reconhecida pelos alunos no advento do questionário, como veremos posteriormente.

Com relação à resposta à sétima pergunta, a despeito do já havia acontecido com as duas anteriores, a resposta negativa teve substancial maioria, reforçando a nossa percepção de um professor que se atém muito mais ao conteúdo propriamente dito e menos ao espectro histórico-crítico do cientista e de sua teoria.

Com relação às respostas às duas últimas perguntas, vemos que os alunos quase que unanimemente rendem-se à importância da contextualização histórica nas aulas de ciências, tanto para auxiliar na apreensão do conteúdo, quanto para tornar a aula mais envolvente, suposição que tínhamos desde o início deste trabalho, razão pela qual nos interessamos pelo assunto.

Analisaremos agora a décima pergunta. O total de alunos que responderam corretamente à 10ª pergunta foi 62. Apesar de 92 alunos terem respondido o questionário, apenas 62 responderam-na corretamente, ou seja, de acordo com o que foi perguntado.

Tabela 10 - Pergunta 10

Ordem de prioridade	1	2	3	4	5	6
Vida pessoal	7	5	7	16	12	15
	11,3%	8,1%	11,3%	25,8%	19,3%	24,2%

Caminho percorrido pelo físico	30	12	9	5	2	4
	48,4%	19,3%	14,5%	8,1%	3,2%	6,5%
Contribuição dos cientistas Anteriores	14	25	10	5	7	1
	22,6%	40,3%	16,1%	8,1%	11,3%	1,6%
Relacionamento com os colegas de Academia	2	5	6	9	16	24
	3,2%	8,1%	9,7%	14,5%	25,8%	38,7%
Situação social, política e Econômica	7	9	20	14	10	2
	11,3%	14,5%	32,3%	22,6%	16,1%	3,2%
Conflito Ciência - Religião	2	6	10	13	15	16
	3,2%	9,7%	16,1%	21,0%	24,2%	25,8%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Pela análise dessa tabela, observamos que prevaleceram os seguintes resultados por ordem crescente de importância dos tipos de abordagens históricas na visão do aluno:

- 1) Caminho percorrido pelo físico
- 2) Contribuição dos cientistas anteriores
- 3) Situação social, política e econômica
- 4) Vida pessoal
- 5) Conflito Ciência – Religião
- 6) Relacionamento com os colegas de Academia

Na nossa avaliação, essa ordem está coerente com aquilo que entendemos ser prioritário na abordagem histórica como apoio à apreensão do conteúdo, principalmente os dois primeiros, que tratam de forma mais direta do

desenvolvimento das Leis e Teorias. Para os assuntos específicos das aulas que foram ministradas, diga-se Relatividade e Efeito Fotoelétrico, é inerente à problematização da aula o relato das divergências da Física Clássica com os resultados experimentais que surgiam à época, para que possamos introduzir as ideias inovadoras de Einstein para solucionar tais divergências.

Essa investida aconteceu inclusive na turma que teve as aulas sem contextualização histórica, pois entendemos que essa é a abordagem mínima necessária para auxiliar a aprendizagem dos alunos, ratificada inclusive na avaliação dos próprios alunos.

Na finalização do projeto com os alunos que participaram das aulas, que fizeram as avaliações sobre os temas discutidos, que estiveram presentes nos fóruns de discussão – um deles inclusive com a ilustre presença do professor Jenner Bastos – e que preencheram o questionário, alguns se manifestaram espontaneamente relatando a experiência de terem participado dessas atividades, através da produção de textos.

Essas manifestações, em consonância com as respostas do questionário, ratificaram a hipótese defendida nesta dissertação de como a abordagem histórico-crítica pode tornar as aulas de Física mais atrativas, desmitificando a ideia implícita deixada pelas aulas sem nenhuma contextualização histórica, de uma ciência pura, ingênua, perfeita e que já nasce pronta.

Os alunos mostraram-se surpresos com os bastidores do mundo científico, as relações políticas de disputa de poder, o tráfico de influência, o comprometimento com o governo, as relações bélicas e as guerras.

Em textos que alguns alunos produziram, esses relataram que a experiência trouxe, entre outros benefícios, uma visão mais crítica e sagaz da Ciência e, por extensão, do mundo em que vivemos.

Não exatamente da forma que supomos, o *feedback* dos alunos nos fez entender que o caminho percorrido por Einstein e a contribuição dos seus antecessores – e até dos parceiros contemporâneos –, têm relação direta com apreensão do conteúdo. Mas os outros aspectos da nossa abordagem histórica cumprem outras funções. Num dos textos produzidos, um aluno fez a seguinte análise: “A física que antes era uma matéria 100% exata, ganhou um lado mais humano, que complementa o conteúdo de matérias como Sociologia, Filosofia e História”. Corroborando com o professor Jenner Bastos, que questiona a figura do

mito, um outro aluno relatou: “Tirou um pouco da figura de um gênio que está em um lugar em que nenhuma outra pessoa pode alcançar, além de mostrar o lado humano do cientista, sua história e o que teve que enfrentar para se tornar o maior físico do século XX”.

Elencamos ainda outros relatos: “As aulas de Física com contextualização histórica foram muito importantes para melhorar o entendimento e compreensão dos assuntos, pois conhecer o contexto histórico e social em que uma teoria se desenvolveu e quais são os antecedentes dela facilita (sic) bastante o aprendizado de Física”. “Conhecer mais sobre a vida

do Einstein e sobre os fatores que o levaram a desenvolver suas teorias em 1905, foi bastante importante para entender melhor suas ideias. As aulas de física com contextualização histórica deveriam ser uma realidade nacional”. “Eu acho que as aulas de Física explicadas com um contexto histórico foram muito proveitosas. A gente conseguiu entender quais foram os fatores que influenciaram Einstein no desenvolvimento de suas teorias, ao mesmo tempo em que a contextualização histórica tornou as aulas de física mais divertidas”. “Acredito que as aulas com contextualização histórica são muito importantes para o total entendimento sobre um determinado assunto de Física, porque elas misturam um conhecimento ‘mais físico’ (a própria teoria) com um conhecimento histórico e social (quais são as causas dessa teoria)”.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de dissertação argumentou, contextualizou e defendeu sobremaneira a abordagem histórica nas aulas de ciências. Para criar uma certa especificidade nesse espectro tão amplo e complexo, focalizamos as aulas de física moderna com as teorias einsteinianas, fazendo uma ampla varredura multidisciplinar na vida do emblemático e singular físico Albert Einstein. Demos oportunidade para alunos conhecerem aspectos diversos da personalidade de Einstein, do físico teórico ao educador, do discreto ao antibelicista, do mulherengo ao amante das artes, da celebridade ao cidadão, do humilde ao de elevada estima, do judeu ao crítico religioso.

É claro que não poderíamos nos ater aos pressupostos teóricos, precisávamos conferir *in loco* a importância da historicidade nas aulas de física, através do trabalho de pesquisa desenvolvido com os alunos que se interessaram pelo tema. Os resultados serviram de um lado para confirmar, de outro para ajustar ideias defendidas neste trabalho.

Ficou bastante evidente que o caminho percorrido pelo físico e a contribuição dos cientistas anteriores ou até dos contemporâneos, tiveram uma ampla aprovação dos alunos no sentido de achar que estes ingredientes devem estar presentes nas aulas de física, em busca de um aprendizado mais eficiente.

Os outros fatores da abordagem histórica, segundo o que apuramos, de uma forma geral não se fazem presentes nas aulas de física e não pareceu prioritário para o aluno no sentido de contribuir com a aprendizagem, mas por outro lado, se somariam aos ingredientes de uma aula mais atrativa.

Percebemos que não temos um corpo de professores que contextualize a situação social, política e econômica do país onde foi desenvolvido a teoria abordada; que descreva a relação do referido físico com os colegas de Academia, com todas as suas peculiaridades; que confronte a histórica confusa relação entre ciência e religião. As razões para este cenário certamente passa pela pouca ou nenhuma importância que os cursos de licenciatura de física dão ao processo histórico, muitas vezes sem sequer ofertar uma disciplina com essa abordagem, muito pelo contrário, conduzem os futuros professores a um ensino burocrático, que o professor Jenner Bastos, em uma de suas palestras e inspirando-se na crítica de Paulo Freire à educação bancária, chamou de 'didática bancária'. Não podemos

deixar de salientar que pesquisas já mostraram que física é a disciplina, dentre todas as outras, com menos profissionais em nível de Brasil que possuem um diploma de graduação em física.

Por uma série de fatores que vão da excessiva matematização da Física, exigida pelos vestibulares tradicionais e em alguns casos até pelo ENEM, à deficitária dimensão humana e desvalorização das disciplinas de Educação nos cursos de licenciatura, observamos que o ensino de Física causa essa triste impressão de uma disciplina frígida, mecânica, descontextualizada, que se reduz à meras aplicações de fórmulas sem sentido prático para os alunos.

Julgamos que há décadas o ensino de ciências nas escolas de ensino médio falhou, distorceu e camuflou essa tão importante área do conhecimento. Em nosso Estado de Alagoas a grande maioria dos professores de física das escolas secundárias particulares sequer tem formação superior em física licenciatura, situação que foi atenuada sensivelmente nos últimos anos com o surgimento do ensino à distância.

Mas mesmo aqueles que têm a oportunidade de passar por um curso superior, sofrem com a desvalorização da licenciatura em comparação com a correspondente valorização concedida aos estudantes que cursam o bacharelado, o que contribui para a formação de uma insuficiente quantidade de professores para atender à demanda da sociedade. A pouca integração dos cursos de exatas com os centros de educação contribui para a formação de professores bitolados a números e fórmulas, sem o desenvolvimento da dimensão humana, política e social do ato de ensinar.

A forma já tradicional de ensinar física, com a única preocupação de encontrar estratégias para decorar fórmulas, sem a contemplação dos fenômenos físicos com suas explicações científicas vai causando preocupantes distorções.

Uma delas é a incapacidade de abstração do aluno, no sentido de fazer uma ponte entre a contextualização de fatos reais a alguma lei, teoria ou mesmo uma fórmula. Com a modernização dos exames avaliativos, essa dificuldade dos estudantes tem se convertido em notas abaixo da média.

Vivemos um momento de tensão política em nosso país, que tem dividido e polarizado as opiniões. Estamos sendo governado por um presidente de extrema direita, ao contrário do que vinha acontecendo desde o processo de redemocratização pós ditadura militar. Certamente sua campanha política foi

beneficiada pela onda conservadora que tem assustado o mundo inteiro; pela avassaladora influência das redes sociais nas figuras das *fake news*, que plantaram mentiras, distorcendo os fatos e confundindo as pessoas. Um pleito eleitoral que desafiou todos os analistas políticos, que acharam que os veículos tradicionais de campanha como o horário político obrigatório de rádio e televisão e os debates nos canais das grandes redes televisivas, iriam reverteriam as intenções iniciais de voto, o que não aconteceu. Inclusive, podemos ainda dizer, que o candidato vencedor sequer participou dos debates utilizando quase que exclusivamente as redes sociais onde pautou sua agenda fascista, politicamente incorreta e que agredia frontalmente os direitos humanos.

Não adentraremos nessa seara política pois não é o propósito específico deste trabalho, porém achamos que este cenário político, econômico e social fala muito sobre a formação educacional do povo brasileiro. Quais motivos levaram um político pífilo, do chamado baixo clero da política e criticado pela maioria dos organismos internacionais, a conseguir se eleger com mais de 50 milhões de votos, inclusive de uma expressiva parcela da classe média que se mobilizou para apoiar este candidato? Certamente a resposta não é simples, envolve um conjunto de fatores, dentre os quais citaremos um que se insere no propósito de nosso trabalho.

Vivemos numa democracia, respeitamos e prezamos a salutar divergência de opiniões, porém defender e institucionalizar pautas discriminatórias, preconceituosas, depois de tantos anos de sangue, suor e lágrimas derramadas em prol de uma sociedade mais justa, é preocupante. Mesmo em escolas de melhor qualidade de ensino, o ensino de ciências nesse país nunca deu sua contribuição para uma educação crítica e libertadora, o que certamente corroborou com o estado de coisas e a polarização política e social em que vive nossa sociedade. Tivemos grandes defensores dessa educação crítica como Paulo Freire e Darcy Ribeiro, cuja influência restringiu-se aos professores de Ciências Humanas, principalmente com a importante inserção de Filosofia e Sociologia nos currículos escolares.

Surfando essa onda ultraconservadora, estamos assistindo estarecidos a uma verdadeira caça às bruxas, com a criação de movimentos extremamente reacionários como o MBL (Movimento Brasil Livre), Vem pra Rua, Escola Sem Partido dentre outros, que com discursos pouco sofisticados defendem uma educação sem Paulo Freire; a não obrigatoriedade de disciplinas como Sociologia e Filosofia; a redução da maioria penal; a liberação da posse de armas; a delação

e punição para os professores que estejam supostamente doutrinando seus alunos; o fomento ao ódio e ao preconceito com as minorias, como os LGBS, negros e os indígenas. Com a ascensão ao poder do atual presidente, essas pautas ancoram-se no próprio Governo Federal.

Como se não bastassem as precárias condições de trabalho, as agressões de alunos e os baixos salários, a categoria profissional dos professores agora se depara com a perseguição protagonizada por parte de grupos ultraconservadores, capitaneados por falsos filósofos e líderes religiosos. Temos a impressão que uma parcela da nossa sociedade está resgatando a veia conservadora histórica de nosso povo que estava um tanto adormecida. Em pleno século XXI temos ouvido discursos que em muito se assemelham às conversas do chá da tarde das madames da alta burguesia paulista da década de 1950, espantadas com a ascensão comunista no Brasil.

O que esses grupos chamam subversivamente de doutrinação nós chamamos de desenvolvimento de um censo crítico, algo essencial para se formar um povo verdadeiramente livre. Mais do que nunca os professores precisam se posicionar, se politizar e politizarem seus alunos, resguardados inclusive pelo direito constitucional da livre cátedra.

Chegamos à conclusão, como supusemos desde do início da dissertação, que a inserção da História da Ciência nas aulas de Física traz benefícios aos alunos no processo de aprendizagem, torna a aula mais envolvente e se faz fiel aos acontecimentos que levaram, tanto os desbravadores da Ciência quanto outros tantos quadros qualificados constituintes da comunidade científica, às suas brilhantes conclusões, além de contribuírem para a formação de um cidadão crítico.

Por fim, lançamos a defesa da inserção da Física Moderna no Ensino Médio, que já aconteceu numa parcela das instituições de ensino, mas em grande parte ainda não. Os fundamentos das teorias do século XX são imprescindíveis para a compreensão dos mecanismos de funcionamento de qualquer dispositivo da vida moderna, seja de um aparelho de GPS a um sensor de presença. Procuramos trazer nossa humilde contribuição para essa tão complexa missão de ensinar, principalmente dentro de uma perspectiva que vem como uma alternativa aos métodos tradicionais de ensino.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L., Introdução de **As Revoluções dos Orbes Celestes, Lisboa:** Fundação Calouste Gulbenkian, 1984, p. V a XXIX, [primeira tradução em língua portuguesa do famoso livro de Copérnico originalmente publicado em latim com o título **De Revolutionibus Orbium Coelestium** em 1543]

ARONS, A. B.; PEPPARD, M. B. Einstein's Proposal of the Photon Concept – a Translation of the *Annalen der Physik* Paper of 1905, *American Journal of Physics*, 1965, Vol. 33, n. 5 , p 367.

BALDOW, R. 'Um Teatro sobre o Caso Galileu: A Peça Didática de Brecht como Instrumento de Divulgação Científica', dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas (PPGECIM/UFAL), 2014

_____. A Matuta e o Caso Galileu em quadrinhos, João Pessoa: Editora Imprell, 2015

_____. BASTOS FILHO, J. B. Hermenêutica Galileana: Teorias que subjazem à peça de Baldow 'A Matuta e o Caso Galileu', **Atas do III Encontro Alagoano de Ensino de Ciências e Matemática**, realizado de 10 a 12 de dezembro de 2014, Maceió, Alagoas. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B1r7lhyJF1WPbDU4VzVwVjJaajg/view>

_____. A peça didática de Brecht como instrumento de divulgação científica: O Caso Galileu, **Exp. Ens. Ciênc.** Vol. 11, nº 3, p. 86-117, 2016. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID325/v11_n3_a2016.pdf

_____. A peça didática de Brecht como instrumento de divulgação científica: O Caso Galileu, **Exp. Ens. Ciênc.** Vol. 11, nº 3, p. 86-117, 2016. Disponível em

http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID325/v11_n3_a2016.pdf

BALDOW, R.; ARAÚJO DOS SANTOS; BASTOS FILHO, J. B. 'O Caso Galileu em uma atividade teatral apresentando como base a Peça Didática de Brecht', VIII Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, realizado de 18 a 20 de setembro de 2014, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

BASTOS FILHO, J. B. 'A unificação de Newton da física de Galileu com a astronomia de Kepler à luz da crítica Popperiana à indução', **Rev. Bras. Ens. Fís.** vol. 17 nº 3, setembro de 1995, p. 233-242. Disponível em:

<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol17a28.pdf>

_____. 'Pode-se progredir com base em fundamentos inconsistentes? (O caso do átomo de Bohr)', **Cad. Bras. Ens. Fís.** Vol. 20, n. 3. p. 312-335, 2003

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6528/6025>

_____. 'Unificação Newtoniana à luz de uma Reconstrução Racional com Viés Epistemológico', **Psicologia & Saberes**, v.7, n. 8, 2018, p.3-19 .Disponível em: <http://revistas.cesmac.edu.br/index.php/psicologia/article/view/771>

_____. Quem foi Albert Einstein? **Gazeta de Alagoas**, Caderno Saber. Maceió, p. A6, jul. 2005. [Este artigo foi reunido no Apêndice B desta Dissertação]

BRIAN, D. **Einstein: A ciência da vida**. São Paulo: Ática,1998.

BRITO, R. **Curso Simétrico Pré-vestibular**. Ceará: editora Vestselser, 2003.

BROCKINGTON, G.; MESQUITA, L. As consequências da má divulgação científica. Ensaio. **Revista da Biologia**. v. 15, n.1, p. 29-34, 2016.

CARVALHO, A.M.P.; CACHAPUZ, A. F.; PEREZ, D.G. (Org.). **O Ensino das ciências como compromisso científico social: os caminhos que percorremos**. São Paulo: Cortez, 2012.

CHASSOT, A. **Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ed.Unijuí, 2016.

COPÉRNICO, N. **As Revoluções dos Orbes Celestes, Lisboa**: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984 [originalmente publicado em latim como **De Revolutionibus Orbium Coelestium** em 1543]

COPERNICUS, **On the Revolutions of the Heavenly Spheres**, In: Great Books of Western World, Vol. 16 Ptomoly, Copernicus, Kepler, Encyclopaedia Britannica: Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokyo, Manila.

EINSTEIN, A. **Notas Autobiográficas**, Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 3ª edição, 1982

EINSTEIN, A., **Letters to Solovine (1906-1955)**, New York: Citadel Press, 1993

EINSTEIN, A., **Concerning an heuristic point of view toward the emission and transformation of light**, *American Journal of Physics*, Vol.33, n. 5. Maio de 1965, p. 367-374

EINSTEIN, A. **Escritos da maturidade**: artigos sobre ciência, educação, religião, relações sociais, racismo, ciências sociais. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

GALILEI, G. Carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-Duquesa Mãe de Toscana (1615), In: **Ciência e Fé**, São Paulo: Nova Stella Editorial, Rio de Janeiro: MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins, p. 41-81, 1988 [Carta escrita originalmente em 1615]

GALILEI, G. Lettera a Cristina di Lorena, Roma: Carlo Mancosu Editore, 1ª edição, 1993 [Carta escrita originalmente em 1615]

GALILEI, G. Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico & Copernicano, São Paulo: Discurso Editorial; Imprensa Oficial, tradução, introdução e notas de Rubem Pablo Mariconda, 2ª edição, 2004 [originalmente publicado em 1632]

GLEISER, M. **Poeira das Estrelas**. São Paulo: Globo, 2016.

HAWKING, S. W.; MLODINOW, L. **Uma Nova História do Tempo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

HOBBSAWN, E. **Era dos extremos**: o breve século XX 1914-1991. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

LUCENA, M.P.C.; BASTOS FILHO, J.B. Contribuição para a inserção da história da ciência e da filosofia da ciência no ensino de física no contexto da educação básica. Parte 1. **Anais do IV Encontro Alagoano em Ensino de Ciências e Matemática (IV EEMC)**, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Educação, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, fevereiro de 2017. Ver link: <https://www.dropbox.com/s/yka7rwzw1xh7cz3/CONTRIBUIÇÃO%2OPARA%20A%20INSERÇÃO%20DA%20HISTÓRIA%20DA%20CIÊNCIA%20-%20Parte%201.pdf?dl=0>

LUCENA, M.P.C.; BASTOS FILHO, J.B. Contribuição para a inserção da história da ciência e da filosofia da ciência no ensino de física no contexto da educação básica. Parte 2. **Anais do IV Encontro Alagoano em Ensino de Ciências e Matemática**

(IV EEMC), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Educação, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, fevereiro de 2017. Ver link: <https://www.dropbox.com/s/qy6clxx4dbr8jgr/CONTRIBUIÇÃO%20PARA%20A%20INSERÇÃO%20DA%20HISTÓRIA%20DA%20CIÊNCIA%20-%20Parte%202.pdf?dl=0>

MENARA SOUZA SOARES, J. **Análise da História do Efeito Fotoelétrico em Livros Didáticos de Física para a Graduação**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual da Paraíba UEPB, 2016

MOREIRA, M.A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2001

OLIVEIRA, M. S. de. **Einstein e a Teoria da Relatividade especial**: uma abordagem histórica e introdutória. Porto Alegre: UFRGS. 2013.

OSIANDER, A., 'Ao Leitor sobre as Hipóteses desta Obra', (Prefácio) In: COPÉRNICO, N. **As Revoluções dos Orbes Celestes**, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. [1], 1984 [originalmente publicado em 1543]

PAIS, A. **Sutil é o Senhor...**: A ciência e a obra de Albert Einstein. 4 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

PÉCHEUX, M.; FICHANT, M. **Teoria sobre a História das Ciências**. Lisboa: Estampa, 1977.

PIMENTEL, F. S. C. **A aprendizagem das crianças na cultura digital**. 2 ed. rev.amp. Maceió: Edufal, 2017.

ROBSON, A et al. **Einstein**: Os 100 Anos da Teoria da Relatividade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

SANTOS, W. L. P. dos; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química**: compromisso com a cidadania. Ijuí: Ed. Unijuí, 1998.

SCHÖNBERG, N. Nicolau de Schönberg, Cardeal de Cápuia, saúda Nicolau Copérnico, In: **As Revoluções dos Orbes Celestes**, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p. [3], 1984 [originalmente publicado em 1543].

APÊNDICE-A

PRODUTO EDUCACIONAL

A construção do produto educacional deste trabalho teve idas e vindas, voltas e reviravoltas. Antes mesmo de começar a cursar as disciplinas do mestrado, já tínhamos a ideia de elaborar desenhos de quadrinhos retratando a vida de Einstein e suas teorias, onde os alunos preencheriam os balões com os diálogos, de acordo com o que eles aprendessem nas aulas ministradas.

Levando-se em consideração a democratização do acesso à internet que avançou nos últimos anos, com nossos alunos quase sempre conectados, pensamos em fazer com que os próprios alunos construíssem virtualmente os quadrinhos com seus diálogos, através de programas específicos que ensinam a construir quadrinhos. Ao cursarmos a disciplina chamada 'Autoria coletiva em ambientes virtuais', oferecida pelo PPGE (Programa de Pós-Graduação em Ensino) desistimos da ideia anterior e pensamos na elaboração de uma página no Facebook, intitulada 'Einstein para o ensino médio', em que os alunos que integraram a pesquisa elaborariam vídeos amadores de curta duração, com o próprio smartphone. Esta página chegou a ser efetivamente criada e apresentada no advento da qualificação.

Porém, pela sugestão de um dos integrantes da banca, o professor Edel Alexandre Pontes, que foi a de criar um outro produto educacional que disponibilizasse virtualmente a sessão 3 desta dissertação que fala da vida e obra de Einstein, mudamos mais uma vez de ideia. Diante deste fato, criamos uma página no ambiente do Google Drive, uma plataforma com muito mais recursos que o Facebook, inclusive voltados para a área educacional.

Além de incentivar o processo criativo, a ideia de "sair do analógico para o digital" (grifo nosso) deve-se ao fato dos nossos alunos serem nativos digitais, ou seja, já nasceram inseridos na cultura digital. Observamos que, mesmo aqueles alunos que ainda estão um pouco distantes das tecnologias digitais, quando têm uma oportunidade de navegar no mundo virtual, parecem ter uma habilidade nata, diferentemente de pessoas mais velhas submetidas às mesmas condições.

Vivemos a época da Cibercultura em que os processos de ensino-aprendizagem começam a ganhar novos rumos, o método tradicional de mera transmissão de informações de forma unilateral sem qualquer interacionismo, não tem mais sustentação. Estamos na era da inteligência coletiva e descentralização do conhecimento como diz o professor Fernando Pimentel, que também afirma: “temos agora a possibilidade de processar, armazenar, recuperar e comunicar informações em qualquer forma, sem limites de distância, tempo ou quantidade” (PIMENTEL, 2017, p.32).

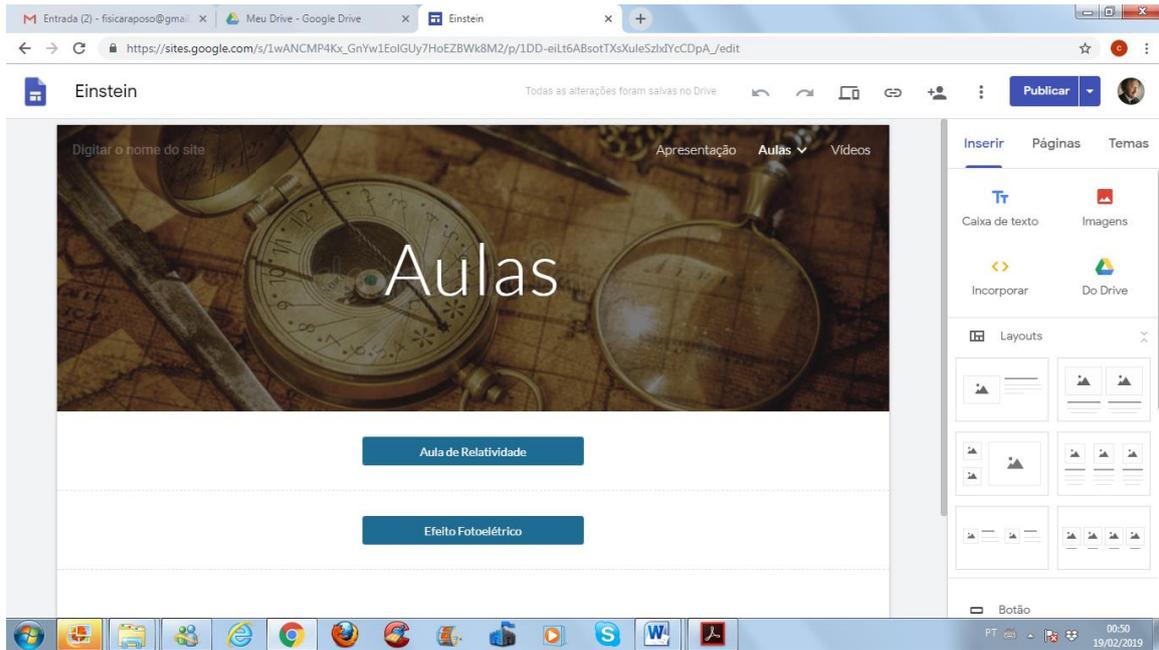
No caminho da importante e necessária inserção das (TDICs), voltadas para conteúdos educacionais, pensamos em embarcar nos recursos do Google Drive. Disponibilizamos aos alunos, professores e ao público em geral, uma página intitulada ‘Bastidores da vida do maior físico do século XX’, que corresponde ao conteúdo da 3ª seção desta dissertação, que trata da vida e obra de Albert Einstein. Vejamos um *print* da página:



Fonte: <https://sites.google.com/view/fiscaraposo>

Na página seguinte, intitulada ‘Aulas’ estão disponíveis os conteúdos das aulas de relatividade restrita e de efeito fotoelétrico, presentes na 4ª seção desta dissertação. Vejamos um *print* da página:

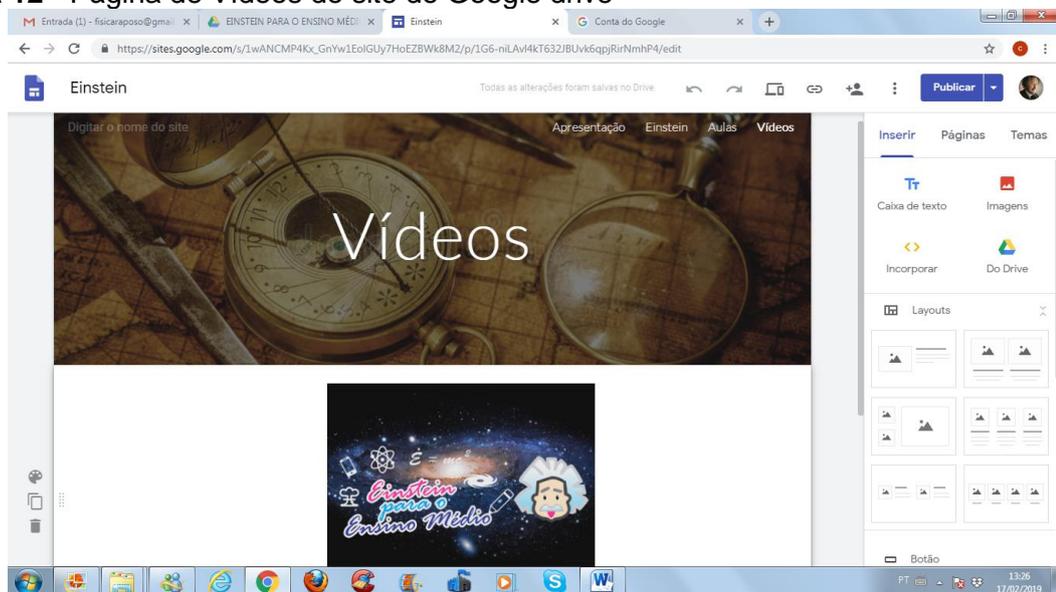
Figura 11 – Página de Aulas do site do Google drive



Fonte: <https://sites.google.com/view/fiscaraposo>

Por fim disponibilizamos alguns vídeos criados e editados pelos alunos que fizeram parte da pesquisa, tanto da escola pública quanto da escola particular. Vejamos um *print* da página:

Figura 12 - Página de Vídeos do site do Google drive



Fonte: <https://sites.google.com/view/fiscaraposo>

Com a produção de vídeos, pretendemos contribuir para estimular os alunos a exercitarem a sua criatividade, tendo em vista a conquista de uma

identidade e do seu protagonismo neste universo digital, onde a mera reprodução ainda se sobrepuja à criação.

Estas páginas do Google Drive criadas para o produto educacional desta dissertação certamente servirão de suporte para que os profissionais da nossa área tenham a possibilidade de inserir a física moderna no ensino médio, com aulas ricas em conteúdo e contextualização histórica.

APÊNDICE- B

Versão muito ligeiramente modificada de artigo publicado originalmente no Caderno *Saber da Gazeta de Alagoas*, p. A6 de 02 de julho de 2005 como Comemoração ao primeiro centenário dos famosos trabalhos de Einstein de 1905.

QUEM FOI ALBERT EINSTEIN?

1. O perfil e o fascínio exercido

Albert Einstein nasceu no dia 14 de março de 1879 em Ulm, Alemanha, e morreu no dia 18 de abril de 1955 em Princeton, estado de New Jersey, Estados Unidos. Ele foi um dos mais emblemáticos cientistas da história, e certamente, o mais famoso físico do século XX.

O pensamento de Einstein e o seu modo de vida extremamente peculiar contribuíram para que se formasse em torno dele a imagem de um dos personagens mais fascinantes do século XX. Parece-nos que este fascínio não foi nem um pouco diminuído neste início de século XXI. No imaginário das pessoas o cientista que é habitualmente apresentado é aquele de cabelos desarrumados, língua de fora e de hábitos esquisitos. Atribui-se frequentemente a ele a qualidade de ter enxergado sutilezas que não foram percebidas pelos outros mortais. Este, no entanto, não é um viés que gostaríamos de explorar em relação a Einstein, pois entendemos que a mistificação da autoridade intelectual em nada nos ajuda a avaliar a grandeza de espírito ensejada pela originalidade de seu pensamento.

Em 1905, quando trabalhava no escritório de patentes de Berna, Suíça, e era um jovem de 26 anos de idade Albert Einstein escreveu alguns trabalhos que marcaram de maneira indelével o desenvolvimento da física do século XX. Este ano de 2005 foi escolhido como Ano Internacional da Física, pois marca a passagem dos 100 anos daqueles trabalhos pioneiros.

Hoje, passados 100 anos daquele ano miraculoso, as suas contribuições seminais para ambas, tanto para a criação da teoria da relatividade quanto para a criação da teoria quântica, ainda não foram adequadamente avaliadas. Einstein é exaltado como criador da teoria da relatividade, mas em relação à teoria quântica a

sua contribuição, embora importante, é ainda praticamente desconhecida pela grande maioria das pessoas.

É algo conhecido que um grande pensador – que é coisa diferente de ser apenas alguém competente em seu trabalho específico e altamente técnico - exibe múltiplas e diversificadas facetas. Algumas dessas facetas se apresentam nas suas reflexões sobre educação, política, formação moral e ética dos indivíduos e também nos problemas filosóficos analisados por ele os quais eram suscitados pelas suas notáveis contribuições. O engajamento do Einstein pacifista em conexão com a sua posição de independência perante um mundo enormemente conturbado por dois conflitos mundiais de grandes proporções é algo que não pode passar despercebido. Einstein combateu, como uma das vozes de um grupo minoritário, as tendências de irracionalismo interpretativo que penetraram grande parte da ciência tanto nos conturbados períodos das duas guerras mundiais quanto nos períodos entre essas mesmas guerras. Manifestou-se também com veemência durante o breve e difícil período de dez anos que vai do imediato pós-guerra até o dia de sua morte.

2. Einstein como marido e como pai

Como marido e como pai Einstein não foi, tanto quanto se tem notícia, alguém que merecesse o epíteto de exemplar. No final de sua vida e fazendo referência à memória de seu amigo de juventude Michele Besso, Einstein, em carta escrita a familiares de seu falecido amigo, comentou que este havia se despedido deste mundo estranho um pouco antes, e que seu dileto amigo tinha sido muito feliz no casamento, mantendo durante toda a vida uma só esposa. Einstein, contrariamente, havia reconhecido que havia fracassado em ambas as tentativas matrimoniais.

Em relação aos seus dois filhos (ambos também filhos de sua primeira esposa Mileva Maric), podemos dizer que o relacionamento não era dos mais harmoniosos. Einstein teve sérias divergências com o seu filho mais velho em razão do conflito causado por não ter respeitado as opções profissionais deste. Em relação ao mais jovem, Einstein não foi capaz de ajuda-lo significativamente na doença mental que se abateu sobre este último. Mais recentemente, em correspondência que se tornou pública a partir de 1987, veio à tona um surpreendente e negativo aspecto da vida de Albert Einstein. Albert e Mileva tiveram uma filha antes do

casamento, filha essa que, tal como se descobriu, nunca houvera sido reconhecida pelo pai. Não são conhecidas as razões que o levaram a tomar essa atitude.

3. Einstein: o prestígio e o poder

Einstein era enormemente festejado. Em quaisquer lugares e instâncias em que se encontrasse sua inteligência era sempre reverenciada como a mais singular de toda a criatividade humana no campo das ciências. Era bastante prestigiado, famoso e exercia (e ainda exerce) um formidável fascínio na opinião pública mundial. No entanto, Einstein nunca exerceu um poder tal que o permitisse caracterizá-lo como um grande chefe (big boss) com influência política no seio da ciência estadunidense. Einstein tinha, é bem verdade, uma grande autoridade moral quando se manifestava sobre grandes temas em favor da humanidade, como aqueles em prol da paz mundial, em prol da justiça e contra o racismo e outras formas hediondas de discriminação. Ai a sua voz era ouvida. No entanto, isso não significa que ele tivesse um poder político como o de muitos big boss engajados no sistema. Um ex-editor da prestigiosa revista Nature, Lindsey escreveu que Einstein apesar de ter sido muito festejado, nunca foi exemplo de orientador para que novas gerações de físicos o seguissem. Neste ponto, por ter sempre estado na contramão das correntes dominantes, ele era claramente diferente de grandes nomes da física dos quanta como aqueles da Escola de Copenhague tais como Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli e Niels Bohr.

Em certo sentido, em que pese ser festejado, ele era também um marginal, por mais paradoxal que isso pareça aos menos avisados. Numa dada ocasião ele houvera se manifestado sobre o seu período princetoniano dizendo que “aqui em Princeton, me consideram um velho maluco”.

4. Quais eram as razões para a marginalidade de Einstein? Era ele um outsider?

Entender as razões do aparente ou real paradoxo contidas no fato de Einstein ter sido marginalizado, apesar de ter sido tão festejado constitui tarefa de muitos historiadores, filósofos da ciência e cientistas de inclinações filosóficas.

Uma das explicações possíveis pode ter sido o movimento anticomunista extremado que se tornou conhecido como Macarthismo que teve lugar nos anos

cinquenta do século XX nos Estados Unidos da América. Este movimento constituiu-se numa verdadeira caça às bruxas que não poupou a intelectualidade trabalhando nas Universidades dos Estados Unidos. Personalidades como Charles Chaplin, Julius Robert Oppenheimer e David Bohm foram severamente molestados. Oppenheimer foi quem, inclusive, dirigiu o projeto que redundou na construção da bomba atômica. Devido a sua postura crítica perante o establishment americano e sua independência, foi objeto de investigação e de perseguição. Einstein tinha ideias socialistas, anticonsumistas, e não escondia de ninguém a sua não admiração pelo american way of life (modo americano de vida). Isso pode ter contribuído bastante para a sua não integração na sociedade norte-americana.

Outra explicação possível é a independência com a qual Einstein havia se confrontado com a interpretação dominante da teoria quântica que é conhecida como a Interpretação de Copenhagen, em relação à qual Einstein havia divergido com ênfase. Esta interpretação pregava, entre outras coisas, a essencial incompreensibilidade da realidade atômica e a resignação em contentar-se com este estado de incompreensibilidade. Einstein não aceitou este estado de coisas, se rebelou contra tudo isso, mas constituía um grupo que, embora fosse de altíssima qualidade intelectual, era bastante minoritário. Einstein, por exemplo, considerou que a interação instantânea a distância era algo insustentável e que não se poderia construir algo sólido em cima de pressupostos como esse.

Também não era interessante para o establishment americano alguém que fosse tão pacifista, pois os falcões viam a guerra como a expressão natural da manutenção do poder dos mais fortes. Em suma, Einstein era demasiadamente independente para que o establishment o considerasse confiável.

5. O Programa Científico de Einstein

O programa científico de Einstein era enfaticamente realista e racionalista. Além disso, Einstein estava claramente inserido no programa reducionista unificador consubstanciado pela possibilidade de unificação de todas as interações as quais passariam a ser concebidas à luz de um mesmo princípio explicativo ou à luz de um mesmo conjunto de princípios explicativos.

Com base no sucesso do programa unificador que nos mostrou: (1) que a física de Galileu e a astronomia de Kepler são, ambas, aspectos da Física gravitacional de Newton; (2) que a eletricidade, o magnetismo e a ótica são aspectos, todos eles compreensíveis à luz das equações de Maxwell, e; (3) que outros programas de unificação conheceram sucesso ao longo da história da física, então Einstein imaginava unificar a interação gravitacional com a interação eletromagnética. Einstein insistiu neste programa em que pese já se ter ciência, na época, da existência de interações de natureza diversa das interações gravitacionais e eletromagnéticas. Eram as interações nucleares fortes e nucleares fracas.

O programa de unificação de Einstein não chegou a bom termo. Hoje os físicos discutem a possibilidade de uma teoria que possa unificar todas as interações conhecidas, mas trata-se de tema muito controvertido. Muitos físicos não apostam mais no programa reducionista unificador e sim no programa da complexidade.

6. O programa da Complexidade

Muitos cientistas e filósofos consideram que o programa reducionista e unificador, isto é, reduzir a imensa diversidade do real a um ou a um conjunto de poucos princípios explicativos constitui-se numa ilusão em relação à qual temos remotíssimas esperanças de sucesso.

Estes cientistas argumentam que cada nível de descrição da realidade tem a sua autonomia própria e entre tais níveis existe uma descontinuidade de descrição, o que seria uma das múltiplas acepções em que pode ser compreendido o programa científico e filosófico da complexidade. Este é um programa que rivaliza com o programa unificador de Einstein e que, por mais estranho que isso possa parecer, também vem como um desdobramento importante das seminais ideias de Einstein. É como diríamos, inspirados em Pascal: o oposto de uma verdade profunda, também é uma verdade profunda e não apenas a sua estática antítese.

7. A imagem e o mito

A imagem de Albert Einstein que é frequentemente apresentada ao público é aquela de alguém excêntrico vivendo em um estado de abstração quase autista; neste estado de abstração, o mundo poderia vir abaixo que a concentração de Einstein não seria minimamente abalada. A sua imagem é associada a alguém que

sempre viveu manipulando fórmulas matemáticas mirabolantes, em que pese a mais conhecida de todas elas, a famosíssima $E=mc^2$, ser matematicamente simples. Deste modo, atribui-se comumente a Einstein a qualidade de ser alguém incompreensível ao comum dos mortais e de se distanciar muito da realidade do homem que passa pela rua.

O leitor poderá se surpreender, mas a imagem descrita acima é, de fato, mistificadora e não corresponde à realidade. Einstein, na verdade, empreendeu uma dura luta contra a mistificação, contra a filosofia da incompreensibilidade, contra a lavagem cerebral largamente praticada, até mesmo em alguns setores da comunidade científica, e contra aquilo que passou a se chamar de “dissolução da realidade”. Einstein, diferentemente daqueles que equivocadamente pensam que seu pensamento é obscuro, envidou muitos esforços para torna-lo o mais claro possível. Isso, contudo, não significa que o seu pensamento fosse por si só evidente e que não demandasse, de quaisquer que fossem as pessoas, esforços para a sua compreensão.

Einstein foi um realista. Sua física, definitivamente, não está distante das coisas do dia a dia. No entanto, como ele mesmo afirmou, a natureza não se revela tão diretamente e sim com altivez e sutileza.

8. Einstein realista

Einstein concebia que o empreendimento científico, notadamente no que concerne à pesquisa da realidade física, consistia nas nossas tentativas de entender as leis que regem o mundo concretamente existente independentemente de nós próprios. Deste modo, o seu programa científico de pesquisa além de ser realista, pois admitia a existência de um mundo concreto fora de nós próprios a ser estudado, era também racionalista na medida em que postulava que este mundo era compreensível, embora parcialmente, por meio das categorias conceituais e referenciais teóricos que inventávamos livremente para conhecê-lo.

As adoções filosóficas de cunhos, realista e racionalista, que se constituíram numa tradição da física até 1924 sofreram um forte abalo após o ano de 1927 quando tomou corpo uma interpretação da teoria quântica que se tornou hegemônica. À esta corrente de pensamento pertenciam físicos muito influentes de

coloração positivista, os quais propagavam ideias como “ a realidade que for medida não existe”, “o que cria a realidade é a medida”, “a realidade foi evaporada”, “a realidade foi dissolvida”, é a mente do observador que produz o colapso da função de onda”, “é a mente do observador que cria a realidade” e coisas do gênero. Einstein criticou muito duramente esta tendência, ora positivista, ora mística, e considerou que todas essas ideias eram extravagâncias que poderiam acarretar em sérios prejuízos para o desenvolvimento da ciência, para a educação do cidadão e para o exercício da autonomia dos indivíduos. Paralelamente à tese da “dissolução da realidade” esses cientistas filósofos dos quanta pregavam também a tese da essencial incompreensibilidade desta, o que aumentou a irritação de Einstein.

Numa carta escrita no dia 10 de abril de 1938 a seu amigo de juventude Maurice Solovine, Einstein, em tom amargurado, criticou a lavagem cerebral realizada por aqueles teóricos dos quanta que anunciavam a assim chamada “dissolução da realidade”. Esses teóricos, severamente criticados por Einstein, eram físicos muito influentes que defendiam as suas ideias com enorme proselitismo e propaganda. As pessoas eram instadas a aderir às ideias desses físicos e quem não aderisse às mesmas poderia “passar vergonha” admitindo assim algo tão “superado” e “antigo” como a postulação da realidade objetiva. Einstein se irritou profundamente com essa lavagem cerebral chegando mesmo a chamar essas pessoas, assim tão facilmente influenciáveis, de cavalos que aderem à moda simplesmente porque é moda, mas não porque tenham envidado esforços no sentido de se dedicarem sequer a um minuto de reflexão. Einstein afirmou, ainda nesta carta, que essas pessoas ao agirem deste modo nem mesmo se dão conta do tirano que lhes domina.

9. Einstein iluminista contra a tirania da falta de autonomia

Do que expusemos acima, podemos ver que Einstein era alguém engajado numa postura que privilegiava autonomia dos indivíduos no sentido mesmo em que hoje (para dar um exemplo mais atual) se encontra preconizado pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) quando essa lei incentiva a crítica, o exercício da cidadania, o exercício da tomada de decisões conscientes e autônomas, o exercício de habilidades e competências que transcendam meramente aquilo que foi abordado em sala de aula e coisas do gênero.

10. Einstein e o dia a dia

Einstein é bastante conhecido pela criação da teoria da relatividade, mas as suas contribuições à teoria quântica são bastante desconhecidas do grande público. No entanto, elas foram de importância capital e podemos dizer mesmo que muitas delas já se encontram materializadas na forma de desenvolvimentos cristalizados em novas tecnologias. Podemos citar pelo menos dois exemplos, o do efeito fotoelétrico e o da física dos lasers.

11. Einstein e o efeito fotoelétrico

Einstein ganhou o Premio Nobel de Física em 1921 pela sua fórmula que explicava de maneira simples e racional o efeito fotoelétrico, embora a sua ideia revolucionária dos quanta de luz se deparasse com uma reação muito forte por parte da comunidade científica. Do ponto de vista prático, o efeito fotoelétrico tem inúmeras aplicações tecnológicas com aquelas dos dispositivos para abrir e fechar portões, disparar descargas d'água em banheiros e muitas outras.

12. Einstein e os lasers

Em 1917 Einstein publicou um trabalho importante no qual deduzia a fórmula da radiação de Planck por um método bastante original. Nessa explicação, Einstein introduziu a luminosa ideia de emissão induzida (às vezes chamada de emissão estimulada) que era um dos importantes embriões do fenômeno dos lasers. Hoje os lasers estão presentes no dia a dia de todos nós como os CDs, os apontadores para fazer palestras, que podem ser adquiridos até mesmo em camelôs, leitores óticos de códigos de barras, instrumentos cirúrgicos e muitos e muitos outros. Isso mostra como uma ideia abstrata de algumas décadas atrás tem a ver com dispositivos concretamente existentes hoje.

13. Einstein e a Paz

Einstein viveu tempos difíceis e conturbados. Durante a 2ª Guerra Mundial ele escreveu uma carta ao Presidente Roosevelt alertando-o para o perigo de que Alemanha viesse a construir um artefato nuclear. Os Estados Unidos se mobilizaram num gigantesco esforço para construir tal artefato antes mesmo que a Alemanha viesse a fazê-lo. Quando este artefato ficou pronto, a Alemanha já havia sido

derrotada, mas a guerra continuava no front japonês. Julgava-se, com boas razões, que independentemente de quanto tempo viesse a durar a guerra contra o Japão, este terminaria, enfim, sendo derrotado. As avaliações de então apontavam no sentido em que o Japão ainda resistiria a mais dois anos de guerra. Este foi um dos argumentos utilizados para justificar o lançamento de duas bombas atômicas nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki. Há quem diga que embora o lançamento das bombas fosse inteiramente desnecessário em termos militares, o que os Estados Unidos queriam, agora já no governo do Presidente Truman, era intimidar a então União Soviética que embora fosse aliada, era o seu mais importante rival.

Aqueles eram tempos muito difíceis. Einstein, Bertrand Russell, entre outros importantes pensadores, apoiaram um movimento que pudesse desestimular a continuidade da barbárie que foi Hiroshima e Nagasaki que, sem dúvida, representou um deliberado ataque contra a população civil japonesa. Felizmente, durante os 60 anos que nos separam destes hediondos episódios de 6 e 9 de agosto de 1945, nenhum outro artefato do gênero (e hoje as potências dispõem de artefatos muitíssimo mais letais que aqueles de seis décadas atrás) foi lançado contra quaisquer outras cidades, e esperamos que assim continue para quaisquer tempos futuros. Einstein, portanto, foi alguém decisivamente engajado no combate desta hedionda barbárie e em prol de uma difícil paz mundial.

14. Einstein no Brasil

Muitas pessoas não sabem, mas Einstein visitou o Brasil em 1925. Ele havia sido convidado para passar algumas semanas na Argentina. O navio que o conduzia aportou no Rio de Janeiro e ele fez uma primeira e brevíssima passagem por nossa terra. Por ocasião de seu retorno da Argentina, o navio que o trouxe fez mais uma parada no Rio de Janeiro, ocasião em que a sua estada foi maior que no brevíssimo período anterior em que estava se dirigindo para a Argentina. Há alguns livros que documentaram a cobertura que a imprensa nacional houvera dado para essa ilustre visita de Einstein ao Brasil que pode ser consultada na página eletrônica da Sociedade Brasileira de Física. Naquela época o Brasil dispunha de algumas faculdades isoladas, mas não de universidades. Para dar uma ideia, a primeira

universidade brasileira foi a Universidade de São Paulo, criada em 1934. A Física brasileira também teve a sua origem, pelo menos na forma institucionalizada, naquela época. Havia, no entanto, uma pré-história da física brasileira consubstanciada por uma pesquisa residual, praticamente amadora e não institucionalizada. Apesar disso, existia algo de pensamento científico no Brasil. Einstein visitou o Instituto Manguinhos, o Observatório Nacional, o Jardim Botânico, o Hospital Juliano Moreira, além de ter proferido duas concorridíssimas palestras. Há arquivos fotográficos de alguns desses eventos.

15. Mitos: A teoria não diz que “tudo seja relativo”

Einstein é muito conhecido pela criação da teoria da relatividade (tanto a restrita de 1905, quanto a geral de 1916). Sobre essa teoria muitos rios de tinta foram gastos para o estabelecimento de um folclore e uma mitologia. Chegou-se a dizer que quando a teoria havia sido formulada, não mais de 12 pessoas eram capazes de entendê-la. No entanto, parece que isso nunca correspondeu à realidade, pois a teoria da relatividade restrita é relativamente simples de se entender tanto conceitualmente quanto do ponto de vista matemático. Quando Einstein visitou o Brasil, a cobertura jornalística da época foi bastante interessante. Anunciantes aproveitavam o mote da relatividade para vender os seus produtos.

Uma coisa que não corresponde à verdade é que a teoria da relatividade de Einstein tenha asseverado que “tudo fosse relativo”. Talvez a denotação de relatividade nem seja mesmo adequada. Não foi Einstein que assim a cunhou. Mas ela adquiriu esta notação. Muito pelo contrário do que o folclore afirma, a teoria da relatividade postula a existência de uma importante entidade absoluta: a velocidade da luz no vácuo que é a mesma independentemente de qual seja o movimento de um dado referencial. Esta velocidade também é postulada como a velocidade limite no universo.