re3.4.1-A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E HISTÓRIA DA CIÊNCIA

O contexto: entre o final do séc. XIX e início do XX

Prof. Tadeu Nunes de Souza (10-2010)

*Parece ser uma característica da mente humana*

*que conceitos familiares [como os dos modelos*

*mecânicos] são abandonados somente com grande*

*relutância, especialmente quando um quadro*

*concreto dos fenômenos tem de ser sacrificado.*

*Max Born*

A literatura especializada tem mostrado que há um alto grau de consenso entre pesquisadores em Ensino de Ciências de que a História das Ciências, se usada adequadamente, pode ser uma poderosa ferramenta para superar obstáculos no que diz respeito à aprendizagem significativa dos estudantes. A História das Ciências nos permite vivenciar uma noção a respeito da natureza da Ciência que não costumamos encontrar nos livros didáticos. No seu seio afloram questões como: De que modo as teorias e os conceitos se desenvolvem? Como é o trabalho de um cientista? Há relações significativas entre Ciência, Religião e Filosofia? Como as ideias do passado foram se transformando até os nossos dias? O estudo adequado da História das Ciências nos permite compreender as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, mostrando que a Ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, é uma criação humana, influindo e sofrendo influencias de muitos aspectos da sociedade. A este respeito MACHADO nos diz:

*(...) a construção do conhecimento nunca é definitiva. Nunca se pode fundar em definições fechadas. A rede encontra-se em permanente estado de atualização. Para apreender o sentido das transformações, o caminho é um só: é preciso estudar História. Ninguém pode ensinar qualquer conteúdo, das ciências às línguas, passando pela matemática, sem uma visão histórica de seu desenvolvimento. É na história que se podem perceber as razões que levaram tal ou qual relação, tal ou qual conceito, a serem constituídos, reforçados ou abandonados.* (MACHADO (2000), p.103)

Outro aspecto interessantíssimo: as pesquisas têm mostrado um alto grau de correlação entre as concepções alternativas dos estudantes e os modelos científicos que predominaram em determinado período histórico nos mais diversos campos do conhecimento. Segundo BARROS (1998): “ *Ignorar este aspecto da História das Ciências no Ensino acaba criando um obstáculo para o ensino de Ciências, moldando o comportamento do estudante a uma imagem indutivista da Ciência, baseada em observações e experimentações não sujeitas a ideias apriorísticas, com a desconsideração do papel das hipóteses e teorias, ignorando-se o papel da comunidade científica, os equívocos, as crenças metafísicas, os compromissos epistemológicos, os dilemas éticos etc.*

Considerando os pressupostos acima, entendo que o ensino da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio poderia ser mais significativo para o estudante se utilizássemos a História da Ciência. Desta forma pretendemos iniciar o tema Relatividade Restrita através da construção de uma linha do tempo onde o estudante, situando-se no contexto da época, poderá desenvolver competências relacionadas à análise, interpretação e construção de conhecimentos sob um viés mais próximo da realidade dos fatos.

Esta atividade apresenta algumas situações interessantes que podem ser trabalhadas com os estudantes: estimulo à participação na construção do seu próprio conhecimento; desenvolvimento de relações de cooperação e construção de relacionamentos entre professor e alunos e alunos com alunos; protagonismo; desenvolvimento da leitura e da escrita; desenvolvimento de competências relacionadas à exposição oral dos trabalhos; desenvolvimento de competências relacionadas à análise e busca de informações. A apresentação dos trabalhos pode ser efetuada no próprio local da exposição, por exemplo corredores ou pátio da escola, desta forma procura-se diversificar a utilização do espaço escolar; desmistificação de que o conhecimento científico é realizado por gênios isoladamente. Como vemos há uma enorme gama de situações que se apresentam para serem exploradas.

Proposta de Atividade: construção de uma linha do tempo descrevendo os acontecimentos no período de tempo anterior a 1905 (ano de publicação da RR) e também no período posterior a 1905. Esta atividade nos permitirá perceber como alguns acontecimentos podem ter contribuído para o desenvolvimento da RR.

**Período: 1878 - 1906**

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

*1878 - Maxwell, James Clerk (1878),* [*"Ether"*](http://en.wikisource.org/wiki/Encyclop%C3%A6dia_Britannica_Ninth_Edition/Ether)*, Encyclopaedia Britannica, Ninth Edition* ***8****: 568–572, : Neste artigo, Maxwell escreve: “Não pode haver dúvidas de que os espaços interplanetários e interestelares não estão vazios, mas sim ocupados por uma substância ou corpo material, que é, certamente o maior e, provavelmente, o mais uniforme corpo de que alguma vez tivemos conhecimento”. Maxwell também relata uma experiência malsucedida para determinar a influência da resistência do éter ao movimento da Terra.*

*1879 – Maxwell solicitou e recebeu de David Peck Todd dados sobre Júpiter. A esperança de Maxwell era comprovar, por métodos astronômicos a velocidade da luz em relação ao éter.*

*1881- Albert Michelson publicou um artigo afirmando que Maxwell havia subestimado a precisão com que experiências terrestres poderiam ser efetuadas.*

Segundo Bryson-2005, *a vida da Michelson é “o exemplo perfeito da idéia dos Estados Unidos no século XIX como terra de oportunidades. Nascido em 1852 na fronteira alemã-polonesa numa família de comerciantes judeus pobres, ele chegou aos Estados Unidos ainda criança e cresceu num campo de mineração na região da corrida do ouro da Califórnia, onde seu pai explorava um negócio de mantimentos. Pobre demais para pagar uma faculdade, viajou até Washington, D.C., e passou a fazer ponto na porta da frente da Casa Branca para que pudesse abordar o presidente Ulysses S. Grant quando este surgisse para sua caminhada diária. Durante essas caminhadas, Michelson agradou tanto o presidente que este lhe conseguiu uma vaga gratuita na Academia Naval. Foi ali que ele aprendeu Física.*

*1886 –Albert Michelson - Projetou o interferômetro e realizou um experimento e medida na cidade de Potsdam. Conclusão do experimento nas palavras de Michelson: “Demonstra-se, assim, a incorreção da hipótese de um éter estacionário, seguindo-se a necessária conclusão de que a hipótese é errônea”. A velocidade da luz revelou-se a mesma em todas as direções.* Foi a primeiro sinal, em duzentos anos, de que as leis de Newton talvez não se aplicassem em toda parte o tempo todo. Albert foi o primeiro americano a receber o Nobel de Física.

**Fica claro que uma pesquisa importante que “rolava”, neste contexto, era a busca de uma confirmação experimental da existência do éter. Por que era importante provar a existência do éter?**

*1887 – Lorenz, Antoon Hendrik escreve um artigo no qual relata que descobriu um erro no tratamento teórico dado por Michelson ao experimento do interferômetro.*

*As reservas de Lorenz e os incitamentos de Rayleigh contribuíram para a decisão de Michelson, agora na Case School of Applied Science, Cleveland, juntamente com Edward Williams Morley, em retormar o experimento.*

*1887 – Agosto. Michelson comunica a Rayleigh que, mais uma vez, encontrara um efeito nulo.*

*1892 - Fitzgerald (1851-1901), para explicar a experiência acima, assumiu a seguinte hipótese: “O comprimento dos materiais contrai-se de um fator  [1 - (v/c)2 ]1/2 na direção do movimento”.  Não se sabia a razão dessa contração, mas a hipótese foi admitida.*

*1900 – Larmour apresenta uma fórmula para a dilatação do tempo.*

*1900 – Lord Kelvin classificou o resultado do experimento como: “ Uma nuvem do século XIX sobre a teoria dinâmica da luz.*

*1900 – Albert Einstein – Graduou-se e em poucos meses começou a contribuir com artigos para Annalen der Physik. Seu primeiro artigo sobre a física dos líquidos em canudos de beber apareceu na mesma edição da Teoria Quântica de Planck. De 1902 a 1904 produziu uma série de artigos sobre Mecânica Estatística para descobrir que o discreto, mas produtivo, J. Willard Gibbs, em Connecticut, realizara o mesmo trabalho em seus “Elementary principles of statistical mechanics de 1901”.*

*1901 - Em 1901, o físico Emil Cohn (1854-1944) publicou um trabalho no Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu G¨ottingen no qual afirmou que o ´eter: “*

*... enche cada elemento de nosso espaço; ele pode ser um sistema ponderável ou também o vácuo”.*

*1901 - O físico alemão Walther Kaufmann (1871-1947) publicou no Nachrichten*

*von der Gesellschaft der Wissenschaften zu G¨ottingen 2 o resultado de suas primeiras experiências no sentido de medir a massa do elétron, nas quais usou o desvio de um feixe de raios beta (elétrons) ao atravessar uma região de campo elétrico (produzido por um condensador)e um campo magnético (produzido por uma bobina). Nessas experiências, Kaufmann observou que a massa aparente do elétron era apreciavelmente maior do que sua massa real ,numa relação de pelo menos três para um.*

*1902 - Kaufmann publicou um trabalho na Physikalische Zeitschrift 4 no qual apresentou evidências experimentais sobre a natureza eletromagnética da massa do elétron. Ainda nesse trabalho, Kaufmann apresentou evidências de que essa massa dependia da velocidade com que o elétron se movimenta.*

*1902 - O físico irlandês Frederick Thomas Trouton (1863-1922) publicou um trabalho nos Transactions of the Royal Dublin Society 7 no qual analisou o resultado de uma experiência que realizou para detectar o éter luminífero cartesiano, baseado na ideia de que esse referencial privilegiado poderia ser detectado por um efeito eletrostático. Com efeito, nessa experiência, ele tentou medir, sem êxito, o torque sofrido por um capacitor carregado suspenso no “éter”, torque esse que deveria resultar da interação entre as cargas do capacitor e o “vento etéreo”.*

*1903 - o astrônomo alemão Karl Schwarszchild (1873-1916) publicou no Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu G¨ottingen Mathematisch-Physikalische Klasse 128 três artigos nos quais deduziu as Equações de Maxwell em termos de ação `a distância, a partir do princípio variacional hamiltoniano. Nesse trabalho, ele demonstrou - antes do advento da Teoria da Relatividade - que essas equações eram invariantes por um certo tipo de transformações, estudadas logo depois, em 1904, por Lorentz.*

*Em 1903, Max Abraham (1875-1922) apresentou nos Annales de Physique Leipzig 10 um estudo mais detalhado de seu modelo eletrônico formulado em 1902. Nesse estudo, Abraham mostrou que a energia e o momento eletromagnético de um elétron, com velocidade v, considerado como uma esfera rígida de raio “a “e carga elétrica “e” distribuída uniformemente apresentam os seguintes valores:*

*....*

*onde:*

*sendo c a velocidade da luz no vácuo. Ainda nesse trabalho, Abraham calculou o componente transversal da massa eletromagnética de um elétron em movimento com velocidade v:*

*m = [1 +*

*onde é a massa de repouso do elétron.*

*1904, Trouton e Noble apresentaram nos Philosophical Transactions of the Royal*

*Society of London 202A o resultado de uma experiência que realizaram para detectar o éter luminífero cartesiano, baseado na ideia de que esse referencial privilegiado poderia ser detectado por um efeito eletrostático. Com efeito, nessa experiência, eles tentaram medir, sem êxito, o torque sofrido por um capacitor carregado suspenso no “éter”, torque esse que deveria resultar da interação entre as cargas do capacitor e o “vento etéreo”.*

*Em 1904, o físico e matemático francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) publicou no Bulletin de la Sociéte Mathematique de France 28 um trabalho no qual apresentou a seguinte questão: Que é o éter, como suas moléculas se arranjam, elas se atraem ou se repelem? Registre-se que, ainda nesse trabalho, Poincaré afirmou que os corpos em movimento sofrem uma contração uniforme na direção desse movimento.*

*Em 1904, Lorentz publicou na Encyklop¨adie der mathematischen Wissenschaften,mit Einschluss ihrer Anwendungen Physik 5 um trabalho no qual deduziu, a partir de sua teoria microscópica do elétron, um conjunto de equações macroscópicas para um meio material que, contudo, não eram invariantes por sua famosa transformação, obtida ainda em1904.*

*1904 – Lord Kelvin escreve: Michelson e Morley, com um belo trabalho experimental sobre o movimento do éter relativamente à Terra, levantaram a única objeção séria às nossas explicações dinâmicas [....]*

*Em 1904, Lorentz publicou um trabalho nos Koniklijke Akademie van Wetenschappen*

*te Amsterdam 6 no qual apresentou um novo modelo para um elétron em movimento. Nesse modelo, ele considerou o elétron em repouso como uma pequena esfera, porém, ao deslocar-se com uma velocidade v ele sofreria uma contração do tipo proposto pelo físico irlandês George Francis Fitzgerald (1851-1901), em 1887, qual seja, de que qualquer bastão que se desloca com velocidade v contrai-se de um fator*

*na direção de seu movimento. Com esse modelo, Lorentz demonstrou que:*

*Onde:*

*sendo c a velocidade da luz no vácuo. Com essas fórmulas, Lorentz verificou que as medidas de Kaufmann eram compatíveis com o seu modelo. Foi também nesse trabalho que Lorentz apresentou as hoje famosas transformações de Lorentz (nome cunhado por Poincaré, em 1905), dadas por (em notação atual):*

*x’ = (x − v t), y’ = y, z’ = z, t’ = (t − ) , onde*

*substituindo as transformações de Galileu (nome dado pelo físico austríaco Philipp Frank (1884-1966), em 1909):*

*x’ = x - v t, y’ = y, z’ = z, t’ = t.*

*É importante observar que Lorentz já havia chegado `as suas transformações, em 1899, porém, com um fator de escala . Contudo, nesse seu trabalho de 1904, Lorentz fez = 1.*

*1904 – O físico alemão Alfred Heinrich Bucherer (1863-1927) publicou, em Leipzig uma monografia intitulada* Matematische Einführung in die Elektronentheorie *na qual mostrou que um elétron se contraía ao se deslocar com velocidade* ***v*** *através do éter, porém, mantendo seu volume constante. Segundo esse modelo, a contração sofrida pelo elétron transformava-o em uma elipse, cujos eixos eram dados por:*

*, onde “a” é o raio do elétron considerado incialmente como esférico, e:*

*Esse modelo previa uma massa transversal para o elétron movente, cujo valor se situava entre os encontrados por Abraham (1902-1903) e por Lorentz (1904).*

*1905 - Em 1905, os norte-americanos, o químico Edward Williams Morley (1838-1923) e o físico Dayton Clarence Miller (1866-1941), publicaram um trabalho no Philosophical Magazine 9 no qual descreveram a experiência pioneira que realizaram no topo de uma colina, com o objetivo de comprovar ou não o resultado da famosa experiência de Michelson-Morley, realizada em 1887.*

*1905- Poincaré comunicou `a Academia Francesa de Ciências um trabalho, que foi publicado nos Comptes rendus hebdomadaires des séances de l’Académie des Sciences de Paris 140, no qual apresentou as hoje famosas transformações de Lorentz,*

*nome cunhado por ele nessa ocasião, e dadas por (em notação atual):*

*x’ = γ (x − v t), y’ = y, z’ = z, t’ = γ (t − )*

*onde: γ = . Ainda nesse artigo Poincaré discutiu o problema da gravitação newtoniana, afirmando que todas as forças deveriam se transformar da mesma maneria sob aquelas transformações. Ele concluiu que a lei da gravitação newtoniana deveria ser modificada e, em vista disso, afirmou:* **Deveriam existir ondas gravitacionais que se propagam com a velocidade da luz!**

*1905 – Albert Einstein –Agora perito técnico de terceira classe do Escritório de Patentes Nacionais em Berna, Suiça, publicou 5 artigos na revista de física alemã Annalen der Physik. Destes artigos 3 são considerados entre os “maiores da história da física”: O primeiro, examinando o efeito fotoelétrico, valeu ao autor o premio Nobel e explicou a Natureza da Luz (além de ajudar a tornar possível a televisão, entre outras coisas). O segundo, sobre o comportamento de partículas minúsculas em suspensão (movimento browniano), forneceu uma prova da existência dos átomos, fato que, surpreendentemente, era objeto de controvérsia. O terceiro, delineando uma Teoria da Relatividade Restrita, simplesmente mudaria o mundo. Nas palavras de* Snow- 1979*: “É um dos artigos científicos mais extraordinários já publicados, tanto pela forma de apresentação quanto pelo conteúdo. Não possuía notas de rodapé nem citações, quase não continha matemática, não mencionava nenhum trabalho que o tivesse influenciado ou precedido. Agradecia a ajuda de um único individuo, Michele Besso. Foi como se Einstein tivesse chegado às conclusões por puro pensamento, sem nenhuma ajuda, sem ouvir opiniões dos outros”. O trabalho foi publicado no volume 17, pp. 891-921; o trabalho sobre a Relatividade Restrita era baseado nos seguintes princípios:*

1. As leis da Física são invariantes por uma Transformação de Lorentz;
2. A Velocidade da luz no vácuo (c) é uma constante em qualquer sistema de referência.

*Usando esses princípios, Einstein demonstrou uma série de resultados revolucionários, tais como (em notação atual):*

1. Contração de Fitzgerald-Lorentz: *γ = . Onde*  é o comprimento de uma bastão rígido que se desloca com velocidade **v**em relação a um observador O em repouso em repouso, L é o comprimento desse bastão visto por O.
2. Dilatação do tempo:

Onde esse resultado significa que o intervalo de tempo () entre doi eventos, medido numa série de relógios sincronizados e em repouso, é maior do que o intervalo de tempo ( – chamado **tempo próprio**) entre esses mesmo eventos, medido por um observador solidário a um relógio que se desloca com velocidade v em relação ao conjunto de relógios sincronizados referido anteriormente.

1. Composição de Velocidades

, ,

Nessas express˜oes (V’x, V’y V’z; Vx, Vy Vz) indicam, respectivamente, os componentes da velocidade de um corpo em relação a um referencial (O’x’y’z’) que se desloca com uma velocidade constante v em relação a um referencial (Oxyz), sendo que, nesse deslocamento,os eixos Ox’ e Ox permanecem paralelos.

IV – Aberração Relativística da Luz tgα = γ

V – Efeito Doppler – Fizeau: ν’ = γν( 1- ), onde ө é o ângulo entre o raio de luz de frequência ν e a direção x. Essa fórmula permitiu que Einstein descobrisse o Efeito Doppler – Fizeau Transverso: ν’difere de ν mesmo quando o movimento da fonte de luz é perpendicular (Ө = 90º) á direção de observação.

VI – Massas transversal () e longitudinal (): = m, = m

VII – Energia Cinética (W); W = m(γ – 1)

Observando essa expressão e considerando que W é infinitamente grande para v = c, Einstein concluiu que velocidades superiores à velocidade c da luz não têm possibilidade de existir.

*1905 – Einstein publicou um artigo nos Annales de Physique Leipzig 18 no qual demonstrou que:*

A massa (m) de um corpo é a medida de seu conteúdo de energia (E): E = m

*1906 – J.J. Thomson insistia: “ O éter é tão importante quanto o ar que respiramos” – isso mais de quatro anos de provado, de forma incontestável, que ele não existia.*

O Premio Novel de 1921

Einstein ganhou o premio Nobel em 1921 por suas realizações em Física-Matemática e, especialmente, pela explicação do efeito fotoelétrico. Este efeito foi primeiramente observado pelos físicos, o alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), em 1887; o italiano Augusto Righi (1850-1920) e o alemão Wilhelm Hallwachs (1859-1922), em 1888; e o russo Aleksandr Grigoryevich Stoletov (1839-1896), em 1889. Basicamente, esses físicos observaram a perda de carga elétrica negativa por um metal iluminado com luz ultravioleta. Em 1902, o físico húngaro-alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947; PNF, 1905) apresentou as leis do efeito fotoelétrico, segundo as quais, basicamente, a energia dos fótoelétrons era dependente da frequência da radiação incidente. Este resultado era incompatível com o eletromagnetismo Maxwelliano pois, para este, aquela energia era proporcional à intensidade da radiação.

Essa incompatibilidade foi sanada por Einstein, em junho de 1905, no trabalho publicado nos Annales de Physique Leipziz 17 (p. 132), no qual explicou heuristicamente o efeito fotoelétrico, propondo o conceito de quantum de luz. Assim, a energia (E) dos elétrons arrancados de alguns elementos químicos devido `a incidência de luz (de frequência ν) é dada por: E = h ν − o, onde hν é a energia do quantum de luz e o é a energia de ligação atômica do elétron. Além desse trabalho, Einstein realizou outros que contribuíram para a concessão do Prêmio Nobel. Por exemplo, em julho de 1905, nos Annales de Physique Leipzig 17 (p. 549) estudou matematicamente o movimento browniano, o que lhe permitiu mostrar que o mesmo poderia ser usado para determinar o tamanho das moléculas.

Portanto, Einstein ganhou o premio Novel após 16 anos de ter publicado o seu trabalho sobre a Relatividade Restrita e a sua premiação não foi por este trabalho. Podemos inferir que mesmo após 16 anos de sua publicação a Relatividade ainda esta em um período de “maturação”; estava passando por uma fase de “testes”, após a qual, talvez, passasse a ser aceita. Esta nós parece uma situação típica da troca de paradigmas. A Relatividade já havia passado por uma fase de experimentação, uma fase de teorização e uma fase de Reflexão; agora encontrava-se em uma nova fase de experimentação após a qual seria paulatinamente aceita no mundo da Física.

**CONCLUSÃO**

**Desta pequena exposição podemos compreender como surgem várias questões na produção do conhecimento. Ao possibilitarmos ao aluno do ensino médio o contato com o contexto no qual se dá o a construção do conhecimento estamos lhe propiciando uma forma mais significativa de apreensão do conteúdo que se lhe quer inculcar. O trabalho de pesquisa de dados lhe proporciona meios de transpor as dificuldades epistemológicas encontradas no caminha rumo a este conhecimento.**

Bibliografia

MACHADO, N. J. . *Educação: Projetos e Valores*. São Paulo: Escrituras Editora, 2000. (Coleção Ensaios Transversais).

Barros, Marcelo Alves; Carvalho, Anna Maria Pessoa de.; *A História da Ciência* *Iluminando o Ensino de Visão*. Revista Ciência & Educação, 1998, 5(1), 83-94.

Bryson, Bill. *Breve História de quase tudo*; [ilustrações de Neil Gower]; tradução Ivo Korytowsky. – São Paulo: Cia da Letras, 2005.

Bassalo, José Maria Filardo. *Nascimento da Física*: Idade Contemporânea – Mecânica Relativista e Quântica. Primeira década do século XX (1901-1910). Departamento de Física da UFPA – Belém do Pará.

Snow, C. P. *Variety of men*. Nova York: Charles Scribner’s Sons, 1996.

\_\_\_\_\_\_\_. *The Physicists.* Londres: House of Strauss, 1979.

Pais, Abraham, 1918- . “Sutil é o Senhor…” a ciência e a vida de Albert Einstein/ Abraham Pais; tradução Fernando Parente e Viriato Esteves; revisão da tradução César Benjamim – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.