

Concepção dos conceitos de tempo e espaço nas visões clássica e moderna da Física

Jefferson José Ximenes¹ e Robert Saraiva Matos²

1 Graduando Licenciatura em Física. bolsista do Programa de Educação Tutorial PET/FISICA/UNIFAP. E-mail: jefferson-jx@hotmail.com

2 Possui especialização em Docência do Ensino Superior (2012) pela Faculdade de Tecnologia do Amapá (META) e graduação em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal do Amapá (2010). Atualmente é professor Efetivo da Universidade Federal do Amapá. E-mail: robert_fisic@unifap.br

RESUMO: Este artigo abordará uma revisão de literatura, a respeito dos conceitos e concepções de tempo e espaço na visão da mecânica newtoniana de Newton e da relatividade de Einstein a partir de pontos de vista e interpretações de diversos autores. Evidenciando a evolução dos pontos de vista clássica para o moderno de tempo e espaço, as fontes consultadas são apresentadas argumentos que contemplam as particularidades de ambas as teorias. Na visão de Newton o espaço seria absoluto permanecendo sempre imóvel e semelhante, e dependendo sempre de observadores inerciais para a validade de suas leis. Enquanto que na visão da relatividade de Einstein surgem profundas mudanças que vem a descartar as concepções de Newton por meio de uma teoria que envolve espaço e tempo para conceituar a gravitação.

Palavras – chaves: Espaço e tempo. Mecânica Newtoniana. Relatividade

ABSTRACT: This article will address a literature review on the concepts and conceptions of time and space in the vision of Newtonian mechanics of Newton and Einstein's relativity from views and interpretations of various authors. Showing the evolution of the classic points of view to the modern time and space, the sources consulted arguments that address the particularities of both theories are presented. In view of Newton's absolute space would always remaining property and the like, and always inertial observers depending on the validity of its laws. While in view of Einstein's relativity arise profound changes coming to discard the concepts of Newton by a theory involving space and time to conceptualize gravitation.

Keywords: Space and time. Newtonian mechanics. Relativity.

1 Introdução

É interessante notar os processos de evolução dos paradigmas de tempo e espaço, colocando em evidencia os processos de evolução das concepções científicas que os seres humanos têm sobre o universo, além do fato de que tu-

do isso pode proporcionar avanços consideráveis nas previsões de fenômenos, resultando em dados mais exatos nas pesquisas científicas. Além disso, o presente estudo pode ser uma boa forma de se ter acesso a atuais concepções de espaço e tempo, já que grande parte do conhecimento da população, em ge-

ral, se baseia no método intuitivo e senso comum sobre os assuntos de mecânica, não tendo acesso a conteúdos relacionados à física moderna. Com isso, foi tentado pautar de forma clara os conceitos a respeito do tema, sem a utilização de notações matemáticas do mesmo. Focando apresentar o maior número de informações a respeito da evolução do progresso de conceito sobre tempo e espaço na visão clássica e moderna, de acordo com o proposto.

Dessa forma, o artigo apresentará uma revisão de literatura a respeito das diferenças nas concepções de tempo e espaço na visão newtoniana, postulada por Isaac Newton, e na visão da relatividade, postulada por Albert Einstein, sendo então debatidos ambos os conceitos de forma cronológica, para demonstrar como evoluiu o conceito que temos hoje.

2 Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida com base em dados de literatura já existentes sobre as concepções de espaço e tempo referentes à mecânica clássica newtoniana e a relatividade de Einstein, dispostas em revistas científicas nacionais.

Fazendo comparações entre os dados, o assunto vai sendo por meio de um encadeamento de citações que venham mostrar a discursão dos dois conceitos, tempo e espaço nestas visões distintas. Mesmo assim não há garantias quanto à compreensão total desses assuntos, pois para Villani (1984, p.3) “na teoria da relatividade restrita todos os referenciais inerciais são equivalentes e não existe um ‘primus inter pares’ que possa dar a palavra definitiva, ca-

paz de dirimir as dúvidas na interpretação das medidas”.

3 Resultados e discussões

Com a publicação da obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Isaac Newton anunciou três leis que facilitaram o cálculo de problemas fundamentais uma vez conhecendo as forças que atuam num dado corpo, instituindo assim a mecânica newtoniana. A qual era dependente de um espaço absoluto, em que é possível distinguir observadores inerciais (para os quais as três leis eram válidas) e não inerciais (para os que as três leis não eram válidas). De acordo com Martins e Zanetic (2002, p. 171), Newton postulou sobre o espaço absoluto, por sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa que seja exterior, permanece sempre semelhante e imóvel. Dessa forma essa concepção sofreu bastante críticas o que levava a caracterizar o empirismo newtoniano a algo a mais que a realidade, algo metafísico.

Imaginemos que todos os corpos tenham sido destruídos e reduzidos a nada: desse modo, daremos àquilo que resta, onde, juntamente com os corpos, fica suspensa toda relação de situação e de distância entre eles, o nome de espaço absoluto. Este espaço é, então, infinito, imóvel, indivisível e não constitui objeto algum de percepção, (...). (BERKELEY, 1721, apud PORTO e PORTO, 2008, p. 3)

Não foi apenas Newton quem desenvolveu estudos a respeito de espaço, como mostra Soares (1999, p. 559) “estes dois aspectos, a postulação do espaço (referencial) absoluto e a equivalência experimental das massas inercial e

gravitacional foram discutidos intensamente por filósofos e cientistas”.

Apesar de as leis de Newton terem sido o objeto de grandes avanços científicos, a ideia de espaço absoluto foi bastante contestada, e um dos primeiros erros quanto as suas leis foram observados em experiências com campo eletromagnético, como informa Ferreira (2004, p. 50) “os primeiros desvios à lei de Newton, foram observados nas experiências de Kaufmann, em que a massa dos elétrons, acelerados em campos elétricos e magnéticos, mostrava ser variável com a velocidade”. Porto e Porto, (2008), relatam que a teoria newtoniana não se cumpria também, quando o assunto era a teoria eletromagnética de Maxwell, em que mantinha erros quanto a sua previsão mesmo considerando os dois observadores da teoria de Newton, o que tornava as leis que governavam o eletromagnetismo diferentes dos demais casos. Dessa forma, Einstein com seu primeiro postulado, quebra a o paradigma da mecânica de Newton, afirmando que as leis da física são as mesmas em qualquer referencial inercial, com isso, não existindo um referencial absoluto.

Einstein no artigo de 1905 “A eletrodinâmica dos corpos em movimento” solucionou, a partir de dois postulados, problemas que alguns físicos de fins do século XIX estavam se defrontando. Dentre essas questões, podemos destacar: a não validade do princípio da relatividade galileiana para o eletromagnetismo. (GUERRA, PRAGA e CLAUDIO, 2007, p. 576).

Além disso, Einstein, em seu segundo postulado, diz que a velocidade da luz que se propaga no vácuo é a mesma em qualquer referencial inercial e em

qualquer direção. Mas deve-se salientar que não foi só Einstein que desenvolveu a relatividade. Martins fala que (2005, p.11) “muitos resultados importantes da teoria da relatividade foram obtidos antes de 1905, por Lorentz, Poincaré e outros pesquisadores”.

Um dado evento pode ser definido por observadores que possuem cada um referencial diferente, sendo que, eventos diferentes possuem observadores diferentes. Segundo a relatividade Restrita, a simultaneidade dos eventos pode ocorrer para um referencial, enquanto para outro possa não ser simultâneo, mesmo em que ambos os referenciais estejam com velocidade constante, dessa forma, a simultaneidade é um conceito relativo, conforme observa Renn (2004, p. 27) “de acordo com a teoria da relatividade especial, relógios e réguas que se movem em relação a um referencial inercial comportam-se de maneira diferente daqueles que se encontram em repouso em relação a este mesmo referencial”, e Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 162) “como os dois eventos ocorrem no mesmo local S' , o intervalo de tempo pode ser medido com o mesmo relógio”. Dessa forma, as noções de tempo absoluto e único, são falsas, como pensava Newton, que atribuía o tempo da mesma forma que o espaço, sem qualquer relação externa.

(...) Procura contrastar o tempo absoluto e relativo, principalmente pelo fato de que a medida do tempo acabava sempre baseada em medidas de movimento. O tempo relativo é aquele relacionado a algum movimento, aquele representado pelo período de um pendulo, a passagem de um astro ou oscilação de um cristal de quartzo. Esse tempo é re-

lativo a um movimento e está suscetível às suas deformidades. O tempo absoluto, por outro lado, “passa” sempre uniformemente, se desenrola independentemente da nossa capacidade de medi-lo sempre de forma constante. (NICOLAU, 2009, p. 8)

A título de comparação, podemos verificar a concepção de Aristóteles sobre tempo:

(...) Assim, como o momento é ao mesmo tempo um começo e um fim, deve haver tempo dos seus dois lados, e se isto é verdade sobre o tempo, é evidente que deve ser verdade acerca do movimento, uma vez que o tempo é um tipo de efeito do movimento. (ARISTÓTELES citado por NICOLAU, 2009, p. 6).

Tendo ainda a pesquisa de Porto e Porto (2008) no qual, o intervalo de tempo medido por um observador para o qual dois eventos ocorrem no mesmo local, chamado tempo próprio, é menor do que o intervalo medido por qualquer outro observador localizado em outra posição. Einstein ainda mostrou que a diferença entre esses intervalos, equivalente à proporção entre o quadrado da velocidade do observador em relação a outro, entre o quadrado da velocidade da luz no vácuo, sendo então imperceptível por nós, já que os fenômenos vivenciando são muito menores que a velocidade da luz

Deste modo o tempo perdeu seu caráter absoluto e foi classificado como uma grandeza algebricamente (quase) equivalente as coordenadas “espaciais”; o caráter absoluto do tempo e em particular da simultaneidade foi derrubada e a descrição quadridimensional introduzida como a única adequada. (DALHEN, 2006, p. 16)

Einstein também deduz que as medidas de comprimento podem ser afetadas

pela condição de movimento, ou seja, a dimensão de um objeto pode variar de um estado imóvel, para um estado em movimento, tendo ainda, segundo Halliday, Resnick e Walker (2009) que o comprimento do corpo em movimento é sempre menor que o do corpo em repouso. E a esse fenômeno se explica a associação do caráter relativo do tempo.

No contexto relativístico, representa uma coordenação dos movimentos e das suas velocidades. Não que iniciada uma inversão na ordem dos eventos em função do referencial, mas sim a não simultaneidade a distância unicamente e, por conseguinte, sobre o fato de que as durações se dilatam a grandes velocidades. (RICARDO, SONIA e COIMBRA, 2006, p. 347).

De acordo com Porto e Porto (2008), estabelecendo o caráter relativo das medidas temporais e espaciais, Einstein obteve as regras por meio das quais se relacionam as medidas feitas por dois observadores inerciais, com isso podendo obter a partir de um evento em um tempo t e no ponto x, y, z , as coordenadas x', y', z' e t' , a partir de sua teoria que compunha um conjunto de transformações matemáticas. Este conjunto é denominado Transformação de Lorentz. Que pela história, seria este o primeiro a dominar este sistema, fato que seria de curiosidade para historiadores epistemológicos como dito por Villani (1985), quando estudava estes de forma metafísica, objetivando solucionar as inconsistências da teoria eletromagnética de Maxwell, sem os atribuir interpretação sistemática.

Atendo-se a essa definição de tempo, verifica-se que as equações básicas da teoria de Lorentz correspondem ao princípio da relatividade, desde que as equações de transformação (...) sejam

substituídas por outras correspondentes ao novo conceito de tempo. (SCHULZ, 2005, p. 37)

Dessa forma, o espaço e o tempo se encontram em um contínuo quadridimensional, misturando coordenadas temporais com espaciais, o que rompe com o conceito clássico de separar tempo e espaço.

Tendo os princípios da relatividade, o domínio da mecânica por uma classe de referenciais inerciais seria abandonado, em que, segundo Falciano (2009, p. 2) "é importante salientar que a modificação introduzida pela relatividade restrita é apenas de cunho cinemático enquanto que a dinâmica newtoniana é localmente preservada". Dessa forma, Einstein formulou o princípio da equivalência, em que a equivalência física não mais pertence a observadores inerciais mais sim de todos os observadores, em que Einstein via que seria fisicamente impossível determinar o ponto de vista de um observador inercial do ponto de vista de um observador não inercial de um campo gravitacional apropriado.

Com isso, Einstein começa a generalizar as leis da relatividade aos demais fenômenos não inerciais, tendo então a necessidade de utilizar coordenadas matemáticas que obedeciam às leis de curvatura do espaço, diferente dos espaços da mecânica de Newton, isto é, usa-se então a geometria formulada por Bernhard Riemann, já que este apresentava o espaço curvado. Como observado por Porto e Porto (2008) Einstein então concluiu que uma teoria do campo gravitacional deveria se adequar a nova geometria, concluindo ainda, que corpos em campos gravitacionais de intensidades diferentes tem o tempo

fluido de maneira diferente, mesmo estando os dois corpos parados, dessa forma, não só o espaço se curva, mas também o próprio tempo se curva à gravidade.

O "espaço físico" tridimensional da nossa percepção imediata não possui uma existência objetiva independente de cada um de nós. Segundo a TR, o espaço onde os eventos ocorrem é um espaço quadridimensional chamando espaço-tempo, composto não apenas pelas direções espaciais usuais mas também por uma direção de carácter temporal. Mais ainda, este espaço-tempo não possui uma estrutura euclidiana (como a do "espaço físico" tridimensional), mas sim uma estrutura pseudo-euclidiana. (VAZ, 2000, p. 5)

Tendo pela famosa equação de Einstein que massa equivalia a energia, assim segundo ele, a gravitação agia não só entre massas, mas também entre energias. Essa conclusão foi de extrema importância para as equações eletromagnéticas de Maxwell. Constituindo assim, o trabalho de Einstein um conjunto de equações não lineares que relacionavam as propriedades de curvatura do espaço tempo em cada ponto à quantidade de matéria e energia presentes.

Segundo Falciano (2009), as soluções das equações de Einstein podem estudar uma partícula por meio das equações de geodésica, que são curvas extremas entre dois pontos, dessa forma, a geodésica é para o espaço curvo o que uma reta é para o espaço euclidiano.

Com o advento da teoria da relatividade geral de Einstein, a questão do movimento inercial dos corpos foi novamente suscitada. Como já mencionada, em sua teoria do campo gravitacional,

Einstein adotou como princípio a ideia de que as trajetórias dos corpos livres da ação de forças seriam geodésicas. (PORTO e PORTO, 2008, p.6).

Sabendo dessa propriedade, Einstein concluiu que até mesmo a luz, sendo que ela não possui massa, se curva ao passar nas imediações de um corpo celeste. Então Einstein calculou o desvio médio que a luz sofre ao passar nas proximidades do sol, aproveitando-se de um eclipse em 1919 para provar sua teoria, por meio de duas expedições de astrônomos, sendo uma na Grã-Bretanha e outra na cidade de Sobral, no Brasil. Dessa forma se confirmou com sucesso as previsões de Einstein, sendo então o mais formidável teste da relatividade geral.

Sendo então a relatividade uma grande ferramenta para estudos cosmológicos, como por exemplo, o redshift, conquanto, para Eustáquio (2004, p.31) “Einstein mostrou a possibilidade do redshift gravitacional, que corresponde a um deslocamento para o vermelho no comprimento de onda dos fótons quando estes se afastam de um campo gravitacional intenso”.

Com a teoria da relatividade, os físicos conseguiram prever a existência de corpos com densidade tão alta, causando desdobramento de campos gravitacionais muito intensos, que nem a própria luz conseguiria sair deste para viajar no espaço. Tais corpos receberam o nome de buracos negros, como comenta Hawking (1994, p.84) “por conseguinte, há um conjunto de acontecimentos, uma região do espaço-tempo, de onde não é possível escapar-se para alcançar um observador distante. Esta região é aquilo a que chamamos buraco negro”.

Mesmo assim, a teoria de Einstein não era capaz de prever a expansão do universo, assim como analisa Saraiva e Kepler (2003, p. 590) “Einstein modificou suas equações, introduzindo a famosa constante cosmológica, para obter um Universo estático, já que ele não tinha, naquela época, nenhuma razão para supor que o Universo estivesse se expandindo ou contraindo”.

A mecânica newtoniana se tornou uma poderosa ferramenta para a previsão de fenômenos físicos, apesar de receber duras críticas de pensadores de diversas épocas, por suas leis serem limitadas por uma concepção de espaço absoluto, e por um grupo de observadores em que suas leis eram válidas. Dentre os pensadores, é interessante destacar Einstein, que por meio da relatividade restrita, mudou essa concepção de espaço e tempo absoluto, criando até mesmo um novo modelo do universo, conforme argumenta Soares (2012, p. 1) “em 1917, portanto, há pouco mais de 90 anos, Albert Einstein (1879-1955) propôs o primeiro modelo cosmológico relativista, isto é, baseado na teoria da relatividade geral (TRG) (...)”, e com a formulação da lei da relatividade geral, Einstein rompe totalmente com a mecânica de Newton, apresentando um espaço-tempo com a teoria da gravitação, um espaço encurvado pela massa e energia. Dessa forma, ocorre uma evolução na ciência que causa um rompimento do senso comum quanto às leis de interação entre corpos.

A teoria da relatividade é crucial para a descrição deste mundo, e na estrutura relativista os conceitos clássicos são transcendidos ao entrar-se num novo campo, o espaço-tempo, um mundo a

quatro dimensões. (CAPRA, 1989, p. 125).

Dessa forma, podemos refletir sobre a importância da relatividade, mesmo que seja um tanto incerta pela ciência. Assim, para Villani (1981, p. 1) “a teoria da relatividade de Einstein constitui uma ruptura em relação a tradição anterior, pelo aparecimento de novos critérios de explicação científica e pela utilização de diferentes instrumentos conceituais.”

4 Considerações finais

Apesar de as leis de Newton terem prevalecido por tanto tempo, e até hoje ainda são usadas para explicar algumas situações físicas, esta se tornou ultrapassada em relação aos parâmetros adotados pelo advento da teoria da relatividade de Einstein. Além de introduzir uma concepção de caráter relativo do movimento, outros benefícios importantes dessa nova teoria são seus complementos à mecânica clássica que visam solucionar as limitações da mecânica newtoniana, assim, tornando possível a explicação teórica de observações experimentais relacionados ao movimento. Com isso, é notável que encarassem a visão moderna de tempo e espaço de Einstein como um avanço na física, mas de toda forma, não deixamos de lado essas concepções na visão newtoniana, já que estas são a base fundamental para o estudo dessas concepções.

Bibliografia

CAPRA, F. **O tao da física: uma exploração dos paralelos entre a física mo-**

terna e o misticismo oriental. São Paulo: Cultrix, 1989.

CINDRA, J.L. Esboço da evolução histórica do princípio da relatividade. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 16, n. s, p. 1-4, 1994.

EUSTÁQUIO, S. R. **Introdução a cosmologia.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

DAHMEN, S. R. Física e realidade. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 9- 22, 2006. Título original: Physik und Realität de Einstein, A. 1907.

SCHULZ, P. A.. Sobre o princípio da relatividade e suas implicações. **Revista Brasileira do Ensino de Física**. v. 27, n. 1, p. 37-61, 2005. Título original: Uber das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen, de Einstein, A. 1936.

FALCIANO, F.T. Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, p. 1- 10, fev., 2009.

FERREIRA, G.F.L. Comparação entre a mecânica relativista e a mecânica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino Física**, v. 26, n.1, p. 49-51, jan., 2004.

GUERRA, A., BRAGA, M., CLAUDIO, J. teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, out., 2007.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER, J. **Fundamento de física, volume 4: óptica e física moderna.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HAWKING, W.S. **Uma breve história do tempo.** 3. ed. Rio de Janeiro: Rocco,

1994.

HENRIQUES, V. B. **Tópicos de História da Física Clássica**. Apostila, USP, São Paulo, 2009. Disponível em <<http://moodle.stoa.usp.br/mod/resource/view.php?id=19620>>. Acesso em: 13 fev. 2014.

MARTINS, A.F.P.; ZANETIC, J. O tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.2, p.149-175, ago., 2002.

MARTINS, R.A. A dinâmica relativística antes de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p.11-26, 2005.

PORTO, C.M.; PORTO, M.B.D.S.M. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1- 8, jan., 2008.

RENN, J. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 27-36, 2004.

RICARDO, A.S. K; SONIA, M.S.C.S. C; COIMBRA, D. Tempo relativístico no início do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 373-386, mai., 2006.

SARAIVA, M.F.O.; KEPLER, S.O. **Astronomia e astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

SOARES, D. O universo estático de Einstein. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1-4, fev., 2012.

SOARES, D. S. L. O balde de Newton e o espaço absoluto: uma resenha de mecânica relacional, de André Koch Torres Assis, CLECH, UNICAMP, (1998), 349p. **Revista Brasileira de**

Ensino de Física, v. 21, n. 4, p. 558-560, dez., 1999.

VAZ, J. J. A álgebra geométrica do espaço-tempo e a teoria da relatividade. **Revista brasileira de ensino de física**, v. 22, n.1, p. 5-31, fev., 2000.

VILLANI, A. Dilatação do tempo e contração das distâncias: uma discussão didática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 6, n. 1, p. 1-15, jun., 1984.

VILLANI, A. **O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações**: uma interpretação sociológica. São Paulo: USP, 1981.

VILLANI, A. A visão eletromagnética e a relatividade: a gênese das teorias de Lorenz e Einstein. **Revista de Ensino de Física**, v. 7, n. 1, p. 51-72, jun., 1985.

Artigo recebido em 17 de julho de 2014.

Aceito em 11 de agosto de 2014.