

Incertezas sobre o Tempo e o Espaço-Tempo¹

Zulena dos S. Silva

Doutora em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, pelo Programa de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia (HCTE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

zuhufil@gmail.com

Palavras chave: metafísica - causalidade - tempo - espaço-tempo

Resumo: O texto que se expõe sugere questões acerca do tempo na TR de Einstein. Com o intuito de resistir ao tempo de nossa circunstância acadêmica, conturbada por fatores econômicos, políticos e sociais, colabora-se com a proposta do *Scientiarum Historia* 2015 e o programa de HCTE compartilhando inquietações sobre o tema. As dúvidas expressas neste escrito mostram-se como mais algumas incertezas, as quais promovem a busca de conhecimento. Importante notar que, no que tange a TR de Einstein, não se pretende aqui sugerir haver qualquer limitação nessa teoria, não se indicando, portanto, uma deficiência conceitual dela; o que se apresenta como questões acerca do tempo na TR são apenas perguntas para melhor compreender o que se conota com esse termo, “tempo”, se algo físico ou metafísico; as questões levantadas sobre o sentido que comporta o tempo na TR partem de argumentos críticos em relação à noção de causalidade na natureza. Vale insistir: a despeito de o tempo poder ser especulado como metafísico para uma teoria que se proponha como teoria física, não implica um desgaste ou insucesso da mesma. Talvez teorias físicas comportem pressupostos metafísicos – esse outro tema não abordado aqui, embora com ele indicadas mais outras incertezas. Em suma, percorre-se neste trabalho os seguintes pontos: i) tempo na TR de Einstein; ii) causalidade e tempo: causalidade entendida como antecedência de eventos em relação a outros tidos como efeitos mostra-se discutível mediante a TRG de Einstein e suscita questões sobre o fluxo temporal; iii) questões sobre a natureza do tempo: se físico ou metafísico.

¹ Agradecimento ao Prof. Oscar Matsuura por sua gentileza e disponibilidade para esclarecimentos sobre o tema.

i) Tempo na TR de Einstein

Na TR de Einstein o tempo deixa de ser tido como absoluto – como o foi considerado na Mecânica Clássica (MC) – e passa a ser compreendido como relativo a um referencial: “Cada corpo de referência (sistema de coordenadas) possui seu tempo próprio. Uma especificação temporal só tem sentido quando se indica o corpo de referência ao qual esta indicação se refere”. (EINSTEIN, p 28) Dois são os pressupostos da mecânica clássica que não encontram razão para justificar o caráter absoluto que pretendem, segundo Einstein:

1. O intervalo de tempo entre dois eventos independe do estado de movimento do corpo de referência.

2. A distância espacial entre dois pontos de um corpo rígido independe do estado de movimento do corpo de referência.

(EINSTEIN, p 31)

Einstein mostrou que a admissão de um tempo universal válido para todos os sistemas móveis de referência não tinha fundamento em qualquer experiência possível e ele substituiu tal noção pela definição de tempo relativo, válido em um dado sistema de referências ou sistema de coordenadas (SC)², mas diferente do tempo de outro sistema em movimento relativo àquele primeiro. Tudo isso também considerado em relação ao espaço.

Em resumo, considerações acerca da relatividade, conforme Einstein concebe a TR: **a)** Princípio da relatividade restrita ou galileana: vale para SC diferentes com m.r.u. um(s) em relação a outro(s): K' em relação a K; pressuposição de espaço e tempo absolutos independentemente dos SC; **b)** Princípio da relatividade especial: não se limita a afirmar que para a descrição de qualquer evento pode ser escolhido qualquer SC; antes sim que as leis gerais da natureza – formuladas a partir de ou em relação a qualquer SC –, p.ex. as leis da mecânica ou a lei da propagação da luz no vácuo, essas leis têm a mesma forma nos diferentes SC; isso quer dizer que nenhum SC é

²Vale lembrar que, em sua obra e divulgação **Teoria da Relatividade Especial e Geral**, são empregadas por Einstein com o mesmo sentido as expressões “corpo de referência”, “corpo rígido”, “sistema de referência” e “sistema de coordenadas” (SC). Este escrito para o *Scientiarum Historia* 2015 se vale da abreviação SC para sistema de coordenadas, para efeito de economia de palavras, e também quando em uso as demais expressões que para Einstein são empregadas com o mesmo sentido.

privilegiado em relação a outro. Pelo princípio da relatividade restrita pressupõe-se haver um SC privilegiado, em repouso. Einstein redimensionou o princípio da relatividade, de modo a subsumir (a possibilidade d) os movimentos em diferentes SC sob a ótica da relatividade restrita à relatividade especial, modificando a suposição de que o tempo e o espaço são absolutos, mostrando-se estes como relativos aos SC. E quanto ao princípio da relatividade especial, ele afirma ser “o princípio da relatividade física de todo movimento uniforme.” (EINSTEIN, p.53) E isso é afirmado agora, conforme a TR, sem que se pressuponha algum referencial em repouso e que este seja, portanto, privilegiado em relação aos demais em movimentos correlacionados aos corpos em movimento neste referencial por m.r.u.; todos os SC estão em m.r.u., esta é a diferença da TR em relação à Mecânica Clássica; **c)** A TRG, por sua vez apresenta um novo quadro da natureza com as seguintes características: **i)** Uma vez existindo campo gravitacional, qualquer SC com base euclidiana será insuficiente para proporcionar descrição dos fenômenos do movimento em todos os seus estados; **ii)** O campo gravitacional afeta o ritmo do relógio, daí que a definição ou determinação do tempo não se dê com o mesmo grau de evidência possível como o da TRE. O próprio tempo depende da localização no campo gravitacional; **iii)** Os SC apresentam, portanto, movimento arbitrário e também no decorrer desse movimento o próprio SC passa por mudanças arbitrárias de forma. Com isso, a definição do tempo faz-se em relação a um ponto (ou posição) neste SC móvel – nas palavras de Einstein: “Devemos imaginar cada um dos relógios como estando fixo a um ponto do corpo de referência não rígido.” (p 82); **iv)** “Este corpo de referência não rígido [móvel], que não sem razão poderíamos denominar ‘molusco de referência’, equivale no essencial a um sistema coordenadas gaussiano quadridimensional qualquer.” (EINSTEIN, p 82) Na TRG: nesta, a descrição espaço-temporal não pode mais empregar SC euclidianos ou corpos rígidos, como se fazia na TRE: “O corpo de referência tem que ser substituído pelo sistema de coordenadas gaussianas.” (EINSTEIN, p 81) Quer dizer, o SC antes não apresentava um campo gravitacional, portanto não abrangia a aceleração (um estado de movimento); agora, com o SC gaussiano contemplam-se curvas, as quais podem representar o movimento de aceleração.

Acerca da relatividade, Einstein considerou quatro dimensões, x^1 , x^2 , x^3 , coordenadas que representam o espaço tridimensional, mas também uma quarta coordenada x , que representa o tempo. Espaço e tempo se conjugam em uma unidade combinada, espaço-tempo. A mudança de forma por que passa um SC no campo gravitacional, significa que a matéria disposta nesse campo altera o espaço-tempo; a distribuição da matéria altera as "quantidades campo" de espaço-tempo. Quer dizer, as quatro dimensões são componentes do campo gravitacional; esses componentes são calculados a partir da distribuição da matéria; essa distribuição da matéria define a geometria do espaço-tempo. Ou seja, conforme a distribuição de matéria, espaço e tempo se alteram. A matéria interfere nas coordenadas espaço-temporais do campo, formando assim, conforme a sua distribuição, uma geometria específica.

ii) Tempo e Causalidade

A compreensão de causalidade como antecedência envolve a noção de tempo, pois implica o entendimento de sucessão entre eventos de modo que um acontecimento anterior a outro seja a causa deste último. Quer dizer, o evento ocorrido antes sendo causa, e o acontecido posteriormente sendo efeito. Assim, a conexão causa-efeito associada ao tempo.

Um problema com esse entendimento quando aplicado à TRG de Einstein consiste em que a Causalidade (relação causa-efeito) definida como antecedência não se apresenta na mecânica geométrica de Einstein porque com o tempo curvo pode-se vislumbrar uma alteração na sucessão dos eventos, de modo que a noção de ordem irreversível do tempo mostra-se discutível. O caso é que na mecânica geométrica de Einstein não estaria definida a direção do tempo³; e se este é curvo, conforme a TRG, então pode

³ Como afirma Max Born: *antecedence, applied to two consecutive configurations as cause and effect, is not satisfied, or not more than in electrodynamics; for there is no intrinsic direction in the flow of time contained in the equations.* (BORN, p.30) (... antecedência, aplicada a duas configurações consecutivas de causa e efeito, não é satisfeita, ou não mais do que na eletrodinâmica, pois não há direção intrínseca no fluxo do tempo contido nas equações. (BORN, p.30) [tradução nossa])

ser especulada a possibilidade de ele ser reversível. O fluxo temporal não sendo definido, o tempo então pode ser tido como reversível, uma vez que o tempo curva, isto é, se pode entender haver retorno ou reversão do tempo e dos acontecimentos nele.

Claro que quanto a isso se pode especular, em contrário, que com o tempo curvo se mantém a sequência dos eventos e a curvatura não implicaria, portanto, um retorno de tempo, mas um retorno no espaço, de modo que o tempo em curva não faz os fatos voltarem ao mesmo lugar, de depois para antes, mas seguirem irreversivelmente em outra localização; e assim o tempo segue como sucessão do ocorrido antes e depois, ou dito de outro modo, segue do passado ao futuro adiante. Em outras palavras, uma possibilidade de resposta ao problema mencionado é a de que com a sua curvatura o tempo não perderia sua propriedade sequencial de irreversibilidade de ocorrências, seu aspecto de sucessão da anterioridade para a posterioridade de eventos.

Mas essa resposta àquele problema pode não ser garantida ou factível, ainda que seja lógica. O caso é que quando se trata de investigação da natureza, do domínio físico, a experiência precisa ser indicada: o tempo curvo é reversível ou irreversível? E ainda: se reversível o tempo, como isso pode ser entendido ou mesmo vivenciado? O que seria uma experiência do tempo revertido? Em que consiste a experiência do tempo curvo? Seria possível ou factível acesso à experiência do fluxo curvo do tempo? Possível uma máquina do tempo?⁴

Outra questão, além das mencionadas antes, é se a possibilidade da reversão do tempo sugere possibilidade de um fenômeno por consistência conceitual dentro de uma teoria ou se por apreensão experimental, factível; esta questão, em aberto, se ressaltará aqui mediante o tempo: ao ser pensado como curvo, tempo é algo conceitual ou físico?

iii) Problemas quanto ao que se pode compreender por tempo na TRG

Necessário esclarecer que a sugestão de que um conceito indica um dado

⁴Sobre essas questões ver “Pode-se mudar o passado?”, de Igor Novikov, *in O futuro do espaço-tempo* de Stephen W. Howking *et al.*

físico, ainda que não apreendido experimentalmente, não implica que o dado se mostre essencialmente algo metafísico; uma teoria e seus conceitos podem valer, tendo em aberto a possibilidade de indicação experimental do fenômeno na natureza.

Mas o que significa tempo na TRG parece algo instigante uma vez que a teoria é física e indica ser o tempo curvo um dado físico; mas esse entendimento sobre o tempo é apresentado mediante a disposição da matéria no campo gravitacional, de modo que tempo e espaço se moldem conforme a distribuição dos corpos astronômicos neste campo: há uma geometria do espaço-tempo; fora do domínio da percepção humana, essa geometria, em escala astronômica, que diz respeito aos fenômenos cósmicos preserva então o caráter físico da teoria.

Mas, ainda assim, qual indicação fenomênica do tempo curvo que não seja pela matéria e pelo campo gravitacional – o qual é indicado pelos movimentos acelerados? Quando um conceito faz sentido não por si mesmo, mas em relação a outros dados, ele é algo metafísico por não ser apreendido em si mesmo? O que é o tempo físico propriamente uma vez entendido como curvo? E esse entendimento de que o tempo é curvo, e assim definido em relação a outros fenômenos astronômicos, é suficiente para considerar tempo como físico, e não apenas como elemento de ligação conceitual, puramente teórico? Por outro lado, a compreensão do tempo como interligado a outros fenômenos basta para entendê-lo como apenas conceitual e não físico? O tempo seria um pressuposto para além do mundo físico, para atender explicações sobre fenômenos da natureza, sem poder ser percebido, apreendido experimentalmente, seja no domínio de nossas percepções ou em escala astronômica?

Neste ponto pode ser lembrado que o tempo, como entendido usualmente por nós, é mensurável e tido como tangível; e na TRG, por sua vez, o tempo não é um fenômeno autônomo, pois interligado ao espaço, encontrando-se assim o conceito de espaço-tempo. Pode-se dizer então que o tempo, como na linguagem cotidiana, seja físico, e o tempo na TRG – conjugado ao espaço e concebido em relação à distribuição da matéria – por estar mediado parece algo real de “outra” natureza, ou metafísico.

Mais reflexões e dúvidas depreendem-se então: medida para o tempo vivido

usualmente, bem como para espaço-tempo, parece ser abstração e compreensão do movimento – este entendido tanto como transformação de algo, como deslocamento de um ponto a outro; assim, tempo está em relação ao movimento como um aspecto desse fenômeno, mas não seria propriamente físico, mas como que uma categoria de um outro fenômeno, o movimento. Na TRG, a conexão do tempo com a geometria do espaço e com a distribuição da matéria lhe confere um aspecto físico, mas, por outro lado, essa conexão parecendo não garantir estatuto ôntico, físico do tempo em si e por si mesmo, podendo ser vislumbrado como um termo indireto, um conceito que não encontraria correspondente na natureza, embora garantindo significação teórica.

Em última análise, alguma realidade, realidade ontológica, o tempo comporta, mas se física ou metafísica resta como dúvida.

REFERÊNCIAS:

BORN, Max. *Natural philosophy of cause and chance*. London: Oxford University Press. 1951.

EINSTEIN, Albert. **A teoria da relatividade especial e geral**. Trad. Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

NOVIKOV Igor. “Pode-se mudar o passado?”, in **O futuro do espaço-tempo**, de Stephen W. Howking *et al.* Trad.: José Viegas Filho. São Paulo: Companhia das Letras, 2005, p 60-87.