

## História da Física e Ciências Afins - Seção Especial: Homenagem a Kurt Gödel (1906-1978)

# Uma nota acerca das relações entre a teoria da relatividade e a filosofia idealista\*

(A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy)  
(Eine Bemerkung über die Beziehungen zwischen der Relativitätstheorie und der idealistischen Philosophie)

Kurt Gödel

Este artigo foi publicado originalmente no livro *Albert Einstein: Scientist-Philosopher*, editado por P.A. Schilpp, em comemoração ao 70 anos de Einstein. Nele, Gödel discute o conceito de tempo na teoria da relatividade geral e viagens no tempo.

**Palavras-chave:** teoria geral da relatividade, viagem no tempo.

This paper was published for first time in *Albert Einstein: Scientist-Philosopher*, edited by P.A. Schilpp in celebration of Einstein's seventieth birthday. Gödel discusses the concept of time in the general theory of relativity as well as time travel.

**Keywords:** general theory of relativity, time travel.

Uma das propriedades mais interessantes da teoria da relatividade para aqueles que têm um pendão para a filosofia é o fato que ela nos proporciona novos e surpreendentes insights acerca da essência do tempo, este Algo enigmático e em si aparentemente contraditório<sup>1</sup>, mas que parece porém constituir o fundamento da existência do mundo e do nosso próprio ser. O próprio ponto de partida da teoria da relatividade é a descoberta de uma propriedade extremamente surpreendente e nova do tempo, a saber a relatividade da simultaneidade, que implica em grande medida na [relatividade] de sucessões [temporais]<sup>2</sup>. A afirmação que os eventos  $A$  e  $B$  são simultâneos (e para um grande grupo de pares de eventos, a afirmação que  $A$  ocorre antes de  $B$ ) perde seu sentido objetivo na medida em que um outro observador pode afirmar, com o mesmo

direito, que  $A$  e  $B$  não ocorreram simultaneamente (ou que  $B$  ocorreu antes de  $A$ ).

Se levarmos as conseqüências desta situação peculiar adiante, chegaremos a conclusões acerca da essência do tempo que são realmente muito profundas. Colocando de maneira sucinta, é como se obtivéssemos uma prova inequívoca do ponto de vista daqueles filósofos que, do mesmo modo que Parmênides, Kant e os idealistas modernos, negam a objetividade da mudança e a encaram com uma ilusão ou um fenômeno fruto de nosso modo especial de percepção<sup>3</sup>. A argumentação é a seguinte: mudanças só são possíveis com o passar do tempo. A existência de um lapso temporal objetivo<sup>4</sup> porém significa (ou pelo menos é equivalente ao fato) que a realidade consiste em uma quantidade infinita de “agoras” que passam a existir consecutivamente. Porém se a si-

\*Tradução de S.R. Dahmen (E-mail: silvio.dahmen@ufrgs.br).

<sup>1</sup> Cf. J.M.E. McTaggart, *The unreality of Time*, Mind, p. 17 (1908).

<sup>2</sup> Ao menos quando se exige que quaisquer dois eventos pontuais ou ocorram simultaneamente ou que um anteceda o outro, *i.e.* que a sucessão temporal define um ordenamento linear completo de todos os eventos pontuais. Há um ordenamento parcial absoluto.

<sup>3</sup> Kant, em sua *Crítica da Razão Pura* (2ª edição, 1787), esclarece sua posição nos seguintes termos: “se porém eu próprio ou um outro ente pudesse me perceber sem esta condição de sensibilidade, então estas próprias designações que atualmente imaginamos como sendo mudanças nos proporcionariam um conhecimento no qual a representação do tempo, e com ela da mudança, não surgiria”. Esta formulação concorda de tal modo bem com a situação vigente na teoria da relatividade, que um se sente tentado a acrescentar: por exemplo a percepção de uma inclinação das linhas de mundo da matéria em relação umas às outras no espaço de Minkowski [N.T.: a nota da edição alemã traz o parágrafo inteiro da obra de Kant supra citada. A edição americana apenas um excerto. Seguimos aqui a edição alemã].

<sup>4</sup> Pode-se assumir a postura segundo a qual o conceito de um fluxo temporal objetivo é desprovido de sentido (baseado na impressão que apenas o presente realmente existe). Mas isto não é de modo algum uma solução para o dilema, pois com esta opinião se estaria tomando a posição de um representante do ponto de vista idealista no que diz respeito à idéia da mudança, exatamente do mesmo modo que aqueles filósofos que vêem nela algo em si contraditório. Em ambas as trincheiras se nega que um lapso do tempo objetivo seja um fato possível, que ele sequer realmente exista – e neste contexto isto significa que há pouca diferença se o conceito que dele temos é desprovido de sentido ou é tomado como sendo contraditório em si. Certamente para aqueles que adotam um destes dois pontos de vista o argumento exposto, baseado na teoria da relatividade (ver abaixo), é supérfluo. Mas mesmo para eles devia ser de interesse, que talvez exista uma segunda prova da irreabilidade da mudança baseado em fatos totalmente diversos, especialmente devido ao fato que as afirmações provadas vão de maneira radical contra o bom senso. Uma descrição particularmente clara deste assunto, independente da teoria da relatividade, pode ser encontrada em Paul Mongré, *O Caos na Seleção Cósmica*, 1898 [N.T.: Paul Mongré era o pseudônimo sob o qual o matemático alemão Felix Hausdorff (1868-1942) escreveu vários textos filosóficos e líricos.]

multaneidade no sentido acima exposto é algo relativo, a realidade não pode ser dividida em tais camadas de maneira objetivamente determinada. Cada observador tem sua própria seqüência de “agoras” e nenhum destes sistemas pode reclamar para si a prerrogativa de ser uma representação do fluxo temporal objetivo<sup>5</sup>.

Esta conclusão foi aventada por alguns filósofos em seus escritos e, ainda que surpreendentemente poucos, ela não deixou de ser questionada. Realmente, pode-se levantar a seguinte objeção ao argumento acima descrito: a equivalência completa de todos os observadores que se movem com velocidades diferentes (mas uniformes), equivalência esta que constitui o cerne da prova, só existe no esquema espaço-tempo abstrato da teoria da relatividade e em certos mundos vazios [sem massa] da relatividade geral. A existência de matéria, ao contrário, do mesmo modo que o tipo particular de curvatura do espaço-tempo por ela causada, elimina completamente a equivalência de diferentes observadores<sup>6</sup> e privilegia de forma explícita alguns dentre eles, a saber aqueles que em seu movimento seguem o movimento médio da matéria<sup>7</sup>. Agora, em todas as soluções cosmológicas até hoje conhecidas das equações gravitacionais (ou seja, em todos os possíveis universos) os tempos locais de *todos* estes observadores coalescem em um único tempo universal. Com isto é aparentemente possível considerar este tempo como sendo o “verdadeiro” e que flui objetivamente, sendo que as discrepâncias das medições de tempo de outros observadores podem ser entendidas como advindo da influência

que o movimento destes, relativo ao estado de movimento médio da matéria, exerce sobre a medida e sobre os processos físicos de um modo geral.

Desta circunstância James Jeans concluiu, frente ao fato que nosso universo aparentemente pode ser representado por uma das soluções cosmológicas conhecidas<sup>8</sup>, que não há razões para abrimos mão da idéia intuitiva de um tempo absoluto que flui objetivamente. Não acredito que a situação justifique esta conclusão, e baseio minha opinião essencialmente nos seguintes fatos e considerações<sup>9</sup>:

Há soluções cosmológicas de um tipo<sup>10</sup> diferente daquelas hoje conhecidas e para as quais o procedimento de definição de um tempo absoluto acima descrito não se aplica, pois o tempo local dos observadores individuais, do modo como o empregamos acima, não podem ser ajustados a um único tempo universal. Também não pode haver para estes universos qualquer outro procedimento para se definir um tempo “absoluto”. Eles possuem propriedades de simetria tais que, para cada possível conceito de simultaneidade e sucessão, existe também outros dos quais não podem ser diferenciados por quaisquer propriedades intrínsecas, mas somente através da referência a objetos particulares, por exemplo, a um sistema galáctico especial.

Consequentemente, ao menos para estes mundos, a conclusão por nós acima feita acerca do caráter não objetivo das mudanças indubitavelmente se aplica. Além do mais resulta que as condições temporais nestes universos (pelo menos naquele ao qual nos referimos no

<sup>5</sup>Pode-se objetar que este argumento apenas demonstra que o passar do tempo é algo relativo, o que porém não exclui que ele possa ser algo objetivo, ao passo que os idealistas afirmam, ele seria apenas algo da nossa imaginação. No entanto um lapso temporal relativo no entanto, caso esta expressão tenha sequer um significado, seria algo com certeza totalmente diferente do lapso temporal no sentido comum. Pois este último significa uma mudança naquilo que existe e o conceito de existência não pode ser relativizado sem que com isso se destrua seu significado. Além do mais pode-se objetar que este argumento dúbio apenas prova que o tempo passa para diferentes observadores de diferentes maneiras, enquanto o passar do tempo em si, apesar de tudo, poderia ser uma propriedade intrínseca (absoluta) do tempo. Creio porém que um passar do tempo em que não fosse de alguma maneira definido um fluxo é tão absurdo quanto um objeto colorido que não tem cor definida. Mesmo que consigamos imaginar tal coisa ela ainda assim seria totalmente diferente da idéia intuitiva de um fluxo de tempo, como a afirmação idealista o supõe ser.

<sup>6</sup>Obviamente, de acordo com a teoria da relatividade, todos observadores são equivalentes na medida em que as leis de movimento da matéria e das interações entre campos e matéria são iguais para todos. Mas isto não se encontra em contradição com o fato que a estrutura do universo (quer dizer a configuração de matéria, movimento e campos) apresenta diferentes aspectos a diferentes observadores, e que muitas delas podem oferecer uma aparência “natural” para alguns e distorcida para outros. Aliás o observador não desempenha papel fundamental nestas observações. O ponto principal é, naturalmente, [o fato] que o próprio mundo quadridimensional tem direções privilegiadas, o que diretamente define tempos locais privilegiados.

<sup>7</sup>A velocidade e direção do movimento médio da matéria pode depender de maneira fundamental do tamanho da região que se toma para fazer esta média. Aquilo que especificamos como sendo o “verdadeiro movimento médio” é obtido em se tomando uma região grande o suficiente de tal modo que as grandezas ali contidas não mudam significativamente ao se aumentar ainda mais o tamanho da região. No nosso mundo isto ocorre para regiões que englobam muitos sistemas galácticos. Obviamente um movimento médio no sentido acima exposto não precisa necessariamente existir.

<sup>8</sup>Cf. *Man and the Universe*, Sir Halley Stewart Lecture (1935), p. 22-23.

<sup>9</sup>Um outro fato que invalida o argumento de Jeans é que o método acima descrito proporciona apenas uma definição aproximada do tempo “absoluto”. Sem dúvida é possível melhorar de tal modo o procedimento de maneira a se obter uma definição precisa, mas isto talvez apenas através da introdução de elementos em menor ou maior medida arbitrários (por exemplo o tamanho da região ou a função peso necessário ao cálculo do movimento médio da matéria). É de se duvidar que haja uma definição precisa que tenha vantagens tão grandes, tal que o tempo dela obtido pudesse ser justificadamente tomado como sendo o tempo “verdadeiro”.

<sup>10</sup>A propriedade física mais evidente que diferencia estas soluções daquelas até agora conhecidas é o fato que nelas (em todas as direções) o sistema inercial gira em relação à matéria. Em nosso mundo isso significaria que ele gira em relação à totalidade dos sistemas galácticos. Estes universos podem assim ser apropriadamente chamados de “universos rotatórios”. Nas considerações que seguem terei em mente um tipo especial de universo rotatório, que tem as propriedades adicionais de ser espacialmente homogêneo, estático e com uma constante cosmológica  $< 0$ . Para uma representação matemática destas soluções vide meu trabalho em *Reviews of Modern Physics*, **21**, 447 (1949). Para uma discussão mais geral acerca de universos rotatórios cf. minha palestra no *Proc. Int. Cong. Math. I* (Harvard, 1950), p. 175. [N.E.: ver artigo de S. Dahmen, p. 531.]

final da nota 11) têm outras propriedades surpreendentes que mais uma vez reforçam a visão idealista: se fizermos uma viagem de ida-e-volta numa nave ao longo de uma curva grande o suficiente é possível, nestes universos, viajar a uma região arbitrária do passado, presente ou futuro e retornar [ao ponto inicial do espaço-tempo], da mesma maneira que é possível, em outros mundos, viajar a regiões longínquas do espaço.

Esta situação parece conduzir a um absurdo, pois seria possível, por exemplo, uma pessoa viajar ao passado para próximo dos locais onde houvera vivido. Lá o viajante encontraria uma pessoa que seria ele próprio em uma fase anterior de sua vida. Ele poderia então fazer algo a si mesmo que, de acordo com sua memória, ele sabe que nunca ocorreu. Estes e outros paradoxos porém partem do pressuposto que tal viagem é realmente factível, para poder com isso provar a impossibilidade de uma viagem ao próprio passado. Porém as velocidades que seriam necessárias para empreender tal intento num tempo razoável estão muito além de tudo aquilo que se espera, um dia, se tornar sequer uma possibilidade prática<sup>11</sup>. Não podemos portanto excluir *a priori*, em função do argumento acima exposto, que a estrutura espaço-temporal do universo real seja do tipo descrito.

No que tange às conclusões que se pode tirar da situação descrita para a questão principal deste trabalho, o ponto-chave é o seguinte: para *cada* possível definição de um tempo universal poder-se-ia, nestes mundos, viajar a regiões do universo que, de acordo com esta definição, pertencem ao passado<sup>12</sup>. Mas isto mostra, novamente, que a premissa de um fluxo temporal objetivo

em tais mundos perderia qualquer legitimidade. Pois, não obstante o modo que se quisesse tomar para [descrever] um tempo que flui, sempre haveria possíveis observadores cujo fluxo de tempo subjetivamente vivido não corresponderia a um fluxo objetivo (em particular também possíveis observadores cujas existências fossem objetivamente simultâneas). No entanto, se a experiência sensível do passar do tempo sem um fluxo temporal objetivo pode existir, então não há razão alguma que justifique o porquê de se assumir um fluxo temporal objetivo em primeiro lugar.

Contudo podemos nos perguntar: para que serve isto se estas condições valem em certos mundos *possíveis*? Isto tem alguma relevância para a pergunta que nos interessa, a saber, se no *nosso* mundo existe um lapso de tempo objetivo? Penso que sim. Pois (1) embora não possamos representar nosso universo através das soluções rotatórias particulares acima descritas (pois estas soluções são estáticas e portanto não há um deslocamento das linhas espectrais de objetos distantes para o vermelho) há soluções de universos rotatórios que se encontram em expansão. Em tais mundos um tempo objetivo pode não existir<sup>13</sup> e não é de todo impossível que nosso mundo seja um universo deste tipo. (2) A simples compatibilidade de universos nos quais não há um tempo e também um fluxo temporal objetivo com as leis da natureza<sup>14</sup>, jogam uma nova luz sobre o significado do tempo também naqueles mundos onde um tempo absoluto *pode* ser definido. Pois se alguém afirma que o tempo está passando, ele deve aceitar como consequência que, quer um tempo objetivo exista ou não (quer dizer se um tempo no sentido

<sup>11</sup>Baseando nossos cálculos no valor médio de densidade de matéria observada experimentalmente no nosso universo e supondo que fosse possível transformar toda matéria em energia, então o peso do “combustível” necessário a uma viagem que durasse  $t$  anos (como medido pelo viajante) seria de uma ordem de grandeza de  $10^{22}/t^2$  vezes o peso da espaçonave (considerando-se também que a desacceleração procede via motor de reação). Esta estimativa vale para  $t < 10^{11}$ . Independente do valor de  $t$ , a velocidade da espaçonave tem que ser no mínimo  $1/\sqrt{2}$  da velocidade da luz. *Nota adicional do autor à edição alemã*: uma segunda razão para descartamos *a priori* universos acima descritos poderia ser encontrada na possibilidade de “telegrafar para o próprio passado”. Porém as dificuldades práticas que daí resultam não seriam menores [que as de uma viagem ao passado]. Aliás a fronteira entre dificuldades práticas e dificuldades de princípio não é absolutamente irremovível. O que antes na física microscópica era uma dificuldade prática hoje se tornou, em função do princípio da incerteza, uma impossibilidade de princípio; e o mesmo pode ocorrer um dia para as dificuldades que se aplicam não ao “muito pequeno” mas sim ao “muito grande”.

<sup>12</sup>Para isto bastariam velocidades incomparavelmente menores. De acordo com as estimativas feitas na nota 12 bastaria neste caso um peso de combustível da ordem do peso da espaçonave.

<sup>13</sup>Ao menos quando se exige que dois eventos sucessivos de um mesmo observador nunca sejam simultâneos em relação ao tempo absoluto ou (o que é dizer a mesma coisa), que o tempo absoluto concorde, em sua direção, com aqueles dos tempos de todos os possíveis observadores. Sem esta condição pode-se sempre definir um tempo absoluto num mundo em expansão (e homogêneo). Sempre que falo de um tempo “absoluto”, deve-se naturalmente entendê-lo de acordo com as restrições explicitadas na nota 10, que valem para outras possíveis definições de um tempo absoluto. *Nota do autor à tradução alemã*: sob a rubrica “tempo absoluto” eu entendo um tempo universal que se pode definir sem referência a um único objeto e que satisfaça as condições formuladas no início desta nota. Mais precisamente deveríamos chamar este tempo de um “tempo absoluto possível”, pois pode haver em um dado mundo mais de um, mesmo que em um universo espacialmente homogêneo este caso seja uma exceção.

<sup>14</sup>A solução considerada acima prova apenas sua compatibilidade com a forma geral das equações de campo [de Einstein], nas quais o valor da constante cosmológica é deixado em aberto. Esta constante, cujo valor atualmente não é conhecido com precisão, faz evidentemente parte das leis da natureza. Porém outras soluções rotatórias poderiam fazer o resultado independe da constante cosmológica (*i.e.* de seu desaparecimento ou não, do seu sinal, uma vez que seu valor numérico para este problema é desprovido de significado). De qualquer maneira estas questões deveriam ser respondidas numa primeira instância desfavoravelmente antes que se cogitasse chegar a uma conclusão como aquela de Jeans exposta acima. *Adendo posterior de 2 de setembro de 1949*: neste interim descobri que há soluções para quaisquer valores de constante cosmológica para os quais não existe tempo universal que satisfaça as condições da nota 14. *Adendo do autor para a tradução alemã*: Também a Segunda Lei da Termodinâmica deve ser compatível com as soluções acima, pois pode-se definir nelas uma direção positiva unívoca e monotônica para toda linha tipo-tempo. Além disso é infinitamente improvável, que qualquer sistema material volte exatamente para seu estado inicial. Se porém isso ocorrer de maneira apenas aproximativa, isto significa apenas que duas cópias do mesmo sistema (em geral com valores diferentes de entropia) estão disponíveis simultaneamente lado a lado. As condições iniciais não são contudo de completa livre escolha.

usual da palavra existe ou não), ele depende da maneira particular como a matéria e seu movimento está distribuída no universo. Isto não é uma contradição que segue obrigatoriamente, mas uma postura filosófica que leva a estas consequências dificilmente pode ser considerada satisfatória.

### Nota do Tradutor

O texto de Gödel aqui apresentado foi publicado no volume *Albert Einstein: Scientist-Philosopher*, editado por P.A. Schilpp em comemoração aos 70 anos de Einstein. Este texto serviu de base para a pre-

sente tradução. Uma vez completada, cotejei o texto com a versão alemã (*Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Friedrich Vieweg und Sohn Verlag, Braunschweig, 1979) para garantir a fidedignidade da tradução. As notas adicionais, escritas do próprio punho de Gödel para a edição alemã e não constantes da edição original em língua inglesa, foram aqui acrescentadas. O tradutor gostaria de agradecer o apoio financeiro da Fundação Alexander von Humboldt.