

O TEMPO: LIMITES ONTOLOGICOS E FÍSICOS DA VIAGEM TEMPORAL

TIEMPO: LÍMITES ONTOLOGICOS Y FÍSICOS DEL VIAJE EN EL TIEMPO

TIME: ONTOLOGICAL AND PHYSICAL LIMITS OF TIME TRAVEL

Tânia Cristina Bueno Pereira¹
Roberto Aguilar de Souza Junior²
Fernando Camilotti³

Resumo

A hipótese de viagem no tempo, embora recorrente na ficção científica, também é discutida nos campos da física teórica e da filosofia. Este artigo é um ensaio crítico de abordagem interdisciplinar, que analisa a inviabilidade ontológica e física da viagem temporal a partir de referenciais da relatividade, da mecânica quântica e da termodinâmica. Sustenta-se que o tempo não constitui uma dimensão navegável, mas uma estrutura relacional emergente, cuja manifestação ocorre exclusivamente no presente. Demonstra-se que o passado não subsiste como entidade acessível e que o futuro não possui existência realizada, o que inviabiliza qualquer forma de deslocamento temporal. O estudo examina os limites conceituais, causais e lógicos envolvidos, com base em autores como Barbour (2020), Rovelli (2018), Deutsch (2011) e Callender (2017) que permite a análise da existência simultânea de um passado, presente e futuro.

Palavras-chave: ontologia do tempo; irreversibilidade temporal; viagem temporal; causalidade; física contemporânea

Abstract

The time travel hypothesis, although recurrent in science fiction, is also discussed in the fields of theoretical physics and philosophy. This article is a critical essay with an interdisciplinary approach, which analyzes the ontological and physical infeasibility of time travel from the references of relativity, quantum mechanics and thermodynamics. It is argued that time is not a navigable dimension, but an emergent relational structure, whose manifestation occurs exclusively in the present. It is demonstrated that the past does not subsist as an accessible entity and that the future does not have a fulfilled existence, which makes any form of temporal displacement unfeasible. The study examines the conceptual, causal and logical limits involved, based on authors such as Barbour (2020), Rovelli (2018), Deutsch (2011) and Callender (2017) that allows the analysis of the simultaneous existence of a past, present and future.

Keywords: ontology of time; temporal irreversibility; time travel; causality; Contemporary physics

Resumen

La hipótesis del viaje en el tiempo, aunque recurrente en la ciencia ficción, también se discute en los campos de la física teórica y la filosofía. Este artículo es un ensayo crítico con un enfoque interdisciplinario, que analiza la inviabilidad ontológica y física del viaje en el tiempo a partir de las referencias de la relatividad, la mecánica cuántica y la termodinámica. Se argumenta que el tiempo no es una dimensión navegable, sino una estructura relacional emergente, cuya manifestación ocurre exclusivamente en el presente. Se demuestra que el pasado no subsiste como entidad accesible y que el futuro no tiene una existencia plena, lo que hace inviable cualquier forma de desplazamiento temporal. El estudio examina los límites conceptuales, causales y lógicos involucrados, a partir de autores como Barbour (2020), Rovelli (2018), Deutsch (2011) y Callender (2017) que permite analizar la existencia simultánea de un pasado, presente y futuro.

Palabras clave: ontología del tiempo; irreversibilidad temporal; viajes en el tiempo; causalidad; Física contemporánea

¹ Formada em Licenciatura em História, cursa segunda graduação em Licenciatura em Física no Centro Universitário Internacional UNINTER. Atualmente leciona no Ensino Básico.

² Professor no Centro Universitário Internacional - UNINTER.

³ Professor no Centro Universitário Internacional - UNINTER.

1 Introdução

A ideia de viajar no tempo exerce fascínio sobre o imaginário humano. Das utopias da ficção científica às tentativas formais de se modelar soluções matemáticas nas equações da relatividade geral, a viagem temporal, especialmente o retorno ao passado, permanece tema de debate entre físicos e filósofos. No entanto, além do apelo narrativo que essa hipótese carrega, há uma questão fundamental: a viagem no tempo é compatível com a estrutura ontológica do universo físico?

Entende-se por estrutura ontológica o conjunto de pressupostos que define o que existe e como tais entidades se manifestam e interagem no espaço-tempo. No contexto da Física contemporânea, esse arcabouço não reconhece a existência de camadas temporais fixas ou simultâneas, apenas relações causais entre eventos. Assim, a pergunta sobre a possibilidade da viagem temporal implica considerar não apenas seus aspectos tecnológicos, mas os fundamentos ontológicos que sustentam o modelo de realidade aceito pelas ciências físicas.

Temos como objetivo investigar, sob uma perspectiva interdisciplinar, se a hipótese da viagem temporal é compatível com os fundamentos ontológicos e físicos que sustentam a estrutura do universo, considerando os limites impostos pela relatividade, pela mecânica quântica e pela termodinâmica.

Deutsch (2011) e Callender (2017) propõem abordagens contrastantes sobre o problema: enquanto o primeiro admite a possibilidade de estruturas auto coerentes que permitiriam curvas temporais fechadas sem violar a lógica causal, o segundo argumenta que o tempo, tal como concebido na experiência cotidiana, é uma construção relacional e irreversível. Barbour (2020) reforça essa concepção ao afirmar que o tempo é uma ilusão gerada pela ordenação de estados estáticos do universo. Rovelli (2018), por sua vez, descreve o tempo como um efeito estatístico da termodinâmica, sem qualquer existência fundamental.

Neste artigo, argumenta-se que a viagem no tempo, seja para o passado, seja para o futuro, não é apenas inviável do ponto de vista tecnológico, mas conceitualmente incompatível com a estrutura relacional e causal do universo. Considerando que o espaço-tempo é uma construção vinculada à posição do observador e ao entrelaçamento causal local, sustenta-se que “viajar no tempo” exigiria não apenas uma transição entre instantes, mas o acesso a uma configuração espacial que já não existe (no caso do passado) ou que ainda não se constituiu (no caso do futuro). A impossibilidade, portanto, não decorre apenas de limitações práticas, mas de um impasse conceitual.

Para alcançar tal objetivo, essa investigação se constitui de natureza teórica e caráter interdisciplinar, articulando fundamentos da física contemporânea, especialmente da relatividade geral, da mecânica quântica e da termodinâmica, com reflexões filosóficas de cunho ontológico. O percurso metodológico adotado envolve a análise crítica de conceitos fundamentais como tempo, causalidade, espaço-tempo, entropia e identidade, com vistas a compreender a (in)viabilidade da viagem temporal sob o ponto de vista físico e metafísico.

A abordagem qualitativa baseia-se na leitura e interpretação de textos científicos e filosóficos relevantes, com destaque para autores como Carlo Rovelli, Julian Barbour, David Deutsch, Craig Callender e Ludwig Boltzmann. Os argumentos desenvolvidos procuram confrontar noções intuitivas e populares sobre o tempo, como a ideia de que o passado persiste em algum “lugar” e o futuro já está “pronto”, com os limites impostos pelas teorias da física moderna e pelas implicações ontológicas desses modelos.

Entre esses limites, destaca-se o papel da entropia na definição da chamada “seta do tempo”. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, em sistemas isolados, a entropia, que é entendida como medida da desordem ou da quantidade de microestados possíveis, tende a aumentar. Esse crescimento irreversível da entropia estabelece uma assimetria fundamental entre passado e futuro, enquanto o passado é caracterizado por estados de menor entropia, o futuro aponta para configurações mais prováveis e desordenadas. Assim, embora as equações fundamentais da física sejam, em sua maioria, simétricas no tempo, a termodinâmica introduz uma direção preferencial, que impede a reversão espontânea dos processos naturais. Essa assimetria é uma das principais razões pelas quais a viagem ao passado é considerada fisicamente inviável.

Assim, o estudo não busca comprovação empírica, mas sim delinear os contornos conceituais e epistemológicos do problema, evidenciando as contradições internas de propostas que admitem a reversibilidade do tempo. Por fim, adota-se uma estratégia argumentativa que combina análise lógica, explicitação teórica e reflexão crítica, a fim de oferecer uma compreensão mais profunda sobre a estrutura do tempo e suas implicações para a noção de realidade.

2 Metodologia

Este artigo adota a forma de um ensaio crítico de natureza teórica e abordagem interdisciplinar, cujo objetivo é examinar a hipótese da viagem temporal à luz dos limites ontológicos e físicos estabelecidos pelas ciências contemporâneas. O método consiste na

análise conceitual e argumentativa de fundamentos da física (relatividade, mecânica quântica, termodinâmica) e da filosofia (ontologia do tempo, causalidade, identidade), com base em autores representativos como Julian Barbour, Carlo Rovelli, David Deutsch e Craig Callender.

A construção do argumento se dá por meio da interpretação crítica de textos científicos e filosóficos, confrontando modelos teóricos com suas implicações lógicas e ontológicas. O percurso metodológico não busca comprovação empírica, mas sim delimitar os contornos conceituais e epistemológicos do problema da reversibilidade temporal, evidenciando suas contradições internas e limites estruturais.

Trata-se, portanto, de uma abordagem qualitativa, centrada na articulação entre teoria física e reflexão filosófica, que visa não apenas refutar a viabilidade da viagem no tempo, mas também propor uma compreensão mais profunda da temporalidade como estrutura relacional e emergente.

3 Fundamentação teórica e desenvolvimento

A seguir, são apresentados os principais fundamentos teóricos que sustentam a hipótese da impossibilidade da viagem temporal. O percurso argumentativo parte da concepção do tempo na física clássica e relativística, passa pela crítica à noção de tempo como fluxo, discute os paradoxos lógicos envolvidos na reversibilidade temporal e analisa os limites ontológicos e epistemológicos do retorno ao passado. Por fim, considera-se o status do futuro como categoria indeterminada. Cada seção busca articular conceitos da física contemporânea com reflexões filosóficas que contribuem para o entendimento da estrutura do tempo como elemento relacional, contingente e assimétrico.

3.1 O tempo na física clássica e relativística

Na física clássica newtoniana, o tempo é tratado como um parâmetro absoluto e universal, que flui de maneira homogênea e contínua, independentemente da matéria, do espaço ou da observação. É o “tempo de Deus” de Newton: eterno, constante e o mesmo para todos os referenciais.

Essa concepção de tempo absoluto, proposta por Newton, pressupõe que o tempo existe de forma independente dos eventos e corpos físicos, como uma espécie de “container” universal no qual os acontecimentos se desenrolam. Trata-se de uma estrutura ontológica rígida, que não sofre influência de nada e permanece idêntica para todos os observadores, em qualquer lugar do universo. Essa visão, embora intuitiva e funcional para a física clássica, carrega implicações

metafísicas profundas: ela sugere que o tempo é uma entidade real, quase substancial, que flui por si só. Essa ideia será radicalmente desafiada no século XX, quando a relatividade mostrará que o tempo não é absoluto, mas relativo ao movimento e à posição do observador e que ele está intrinsecamente entrelaçado com o espaço, formando uma única entidade dinâmica: o espaço-tempo.

Esse modelo, embora eficaz para descrever fenômenos do cotidiano, já antecipa uma contradição ao permitir reversibilidade formal nas equações diferenciais do movimento, ou seja, o mesmo conjunto de leis vale tanto para o avanço quanto para o recuo no tempo.

Entretanto, essa simetria temporal não implica reversibilidade real. Como apontado por Boltzmann (1986), o aumento da entropia em sistemas isolados, conforme a segunda lei da termodinâmica, confere uma seta do tempo ao universo físico. Ou seja, embora as leis permitam recuar, o estado de desordem só cresce. Isso já implica um desequilíbrio fundamental entre futuro e passado.

Com a formulação da teoria da relatividade restrita por Einstein (1905), o tempo deixa de ser absoluto e passa a ser uma coordenada integrada ao espaço, formando o contínuo espaço-tempo de quatro dimensões. A métrica relativística é expressa como:

$$s^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

Essa equação define a métrica de Minkowski, que caracteriza o intervalo espaço-temporal em um espaço plano de quatro dimensões, segundo a relatividade restrita.

A fusão entre espaço e tempo proposta por Einstein representa uma ruptura conceitual profunda em relação à física clássica. Em vez de tratar o tempo como uma entidade separada e absoluta, a relatividade o integra às três dimensões espaciais, formando uma estrutura quadridimensional conhecida como espaço-tempo. Nessa nova geometria do universo, os eventos não ocorrem “no tempo” e “no espaço” separadamente, mas em pontos específicos dessa malha contínua. Isso significa que a posição temporal de um evento depende de sua localização espacial e do referencial do observador. A noção de simultaneidade, por exemplo, deixa de ser universal: dois eventos que parecem ocorrer ao mesmo tempo para um observador podem não ser simultâneos para outro em movimento. Essa interdependência entre espaço e tempo redefine a própria ideia de realidade física, impondo limites à causalidade e à possibilidade de deslocamentos temporais.

Nesse contexto, o princípio da causalidade, que afirma que toda causa deve preceder seu efeito, adquire uma formulação física rigorosa. A relatividade impõe que nenhuma informação ou influência pode se propagar mais rápido que a luz, o que estabelece um limite natural para as conexões causais entre eventos. Isso significa que apenas os eventos localizados

dentro do cone de luz de um ponto no espaço-tempo podem ser causalmente relacionados a ele. Fora desse cone, qualquer tentativa de estabelecer uma relação de causa e efeito violaria a estrutura relativística do universo. Assim, a causalidade não é apenas uma exigência lógica, mas uma consequência direta da geometria do espaço-tempo.

Nessa métrica, o valor de s^2 determina o tipo de relação entre eventos. Se $s^2 > 0$, os eventos estão no interior do cone de luz e podem ter relação causal. Se $s^2 < 0$, estão fora do alcance causal - portanto, desconectados fisicamente. O cone de luz representa o conjunto de todos os eventos que podem ser influenciados ou influenciar um ponto específico no espaço-tempo, respeitando o limite máximo da velocidade da luz.

Essa estrutura impõe limites rigorosos às possibilidades de deslocamento temporal. A relatividade não prevê um “tempo absoluto” a ser retornado. Ela apenas define intervalos entre eventos, mediados por velocidades máximas de propagação (como a da luz) e pela curvatura do espaço-tempo em contextos relativísticos mais amplos.

Apesar dessas restrições, algumas soluções das equações da relatividade geral admitem a existência de trajetórias chamadas curvas temporais fechadas, caminhos no espaço-tempo que retornam ao mesmo ponto no tempo, permitindo, em tese, que um objeto ou observador volte ao seu próprio passado. Essas soluções, embora matematicamente consistentes, levantam sérios problemas físicos e filosóficos. Do ponto de vista físico, exigem condições extremas, como matéria exótica com energia negativa, cuja existência ainda não foi confirmada. Do ponto de vista lógico, abrem espaço para paradoxos temporais, como o famoso paradoxo do avô, que desafiam a coerência causal do universo. Por isso, embora intrigantes, essas trajetórias são amplamente consideradas como artefatos teóricos, sem plausibilidade empírica.

A partir da formulação da relatividade geral por Einstein (1905), tornou-se possível deduzir soluções matemáticas que permitiriam distorções no espaço-tempo. Soluções como os buracos de minhoca ou as curvas temporais fechadas foram exploradas por Gödel (1949) e Tipler (1974), mas tais modelos exigem condições físicas extremas - como energia negativa ou densidade infinita - e geram paradoxos causais considerados inaceitáveis pela maioria da comunidade científica. Para Callender (2017), essas soluções, embora formalmente admissíveis, não correspondem a soluções fisicamente realizáveis segundo os critérios atuais de plausibilidade empírica, sendo apenas artefatos matemáticos - e não previsões físicas.

É nesse ponto que se estabelece um contraste relevante entre autores como Deutsch (2011) e Barbour (2020): enquanto Deutsch defende que a existência de múltiplas realidades paralelas poderia permitir viagens temporais coerentes, sem violar a causalidade, Barbour rejeita completamente a ideia de tempo como dimensão navegável, tratando-o como uma ilusão

emergente da ordenação de estados estáticos. Essa divergência revela não apenas diferentes interpretações da física quântica, mas também concepções ontológicas incompatíveis sobre o que significa “existir no tempo”.

Rovelli (2018), por sua vez, aproxima-se da posição de Barbour ao afirmar que o tempo é uma propriedade estatística emergente, e não uma entidade fundamental. Para ele, a assimetria temporal decorre da termodinâmica e da perda de correlações quânticas, o que reforça a impossibilidade de reversão temporal. Callender também se alinha a essa visão ao considerar que o tempo é uma construção relacional, sem substrato físico que permita deslocamentos temporais.

Portanto, já no plano físico, o tempo se mostra relativo, assimétrico e não reversível. A viagem temporal, se existisse, não poderia ocorrer no modelo tradicional de um sujeito deslocando-se por um eixo absoluto, pois tal eixo simplesmente não existe.

3.2 A ilusão do tempo como fluxo

A sensação de que o tempo “passa”, “flui” ou “corre” de um passado fixo para um futuro aberto está entre os fenômenos mais íntimos da experiência humana. No entanto, essa percepção pode ser uma emergência subjetiva, não uma característica objetiva da realidade física.

Barbour (2020), em *The End of Time*, propõe que o universo não se move pelo tempo - ele é uma coleção de estados atemporais, que ele chama de instantes de configuração. Esses estados, ou “agoras”, são pontos em um espaço abstrato chamado Platonia, no qual o que chamamos de tempo é apenas uma impressão da mente humana ao comparar diferentes “quadros” do universo. Barbour (2020, p. 34) escreve: “O que existe não é o tempo fluindo, mas as coisas estando.”

Essa ideia é reforçada por Rovelli (2018), que argumenta que o tempo não é uma entidade fundamental, mas uma propriedade termodinâmica emergente de sistemas complexos. Em sistemas simples - como em escalas quânticas -, não há distinção entre passado e futuro. A assimetria do tempo é estatística, não fundamental.

A física quântica, especialmente em sua formulação relacional, também questiona o tempo como parâmetro absoluto. No modelo de tempo relacional, o que existe são correlações entre variáveis físicas - como “o relógio marca 12 quando o elétron passa por tal ponto” -, e não um tempo externo no qual os eventos “ocorrem” (Rovelli, 2018).

Essa concepção relacional do tempo rompe com a ideia de um fluxo contínuo e independente. Em vez de existir como uma entidade autônoma, o tempo emerge das relações

entre sistemas físicos. Isso significa que não há um “relógio universal” marcando o tempo para todo o cosmos, mas sim múltiplos tempos locais, definidos pelas interações entre os elementos de um sistema. O tempo, nesse sentido, é uma medida da mudança e só faz sentido quando há algo que muda em relação a outra coisa. Essa abordagem, proposta por Rovelli e outros físicos contemporâneos, reforça a ideia de que o tempo não é um pano de fundo absoluto, mas uma construção contextual, dependente da dinâmica dos sistemas observados.

Em contraste com Barbour e Rovelli, Deutsch (2011) defende que o tempo pode ser tratado como uma dimensão navegável, desde que se admita a existência de múltiplas realidades paralelas. Para ele, a estrutura do universo permite a formação de histórias alternativas, nas quais o tempo pode ser cruzado sem violar a causalidade. Essa posição, depende de uma ontologia bifurcada e altamente especulativa, que Barbour rejeita por considerar que não há continuidade entre estados, apenas configurações independentes. O debate entre esses autores revela uma tensão entre modelos que tratam o tempo como construção emergente e aqueles que o consideram uma dimensão física passível de manipulação.

Além disso, estudos em neurociência e psicologia cognitiva, como os de Eagleman (2011), sugerem que a percepção do tempo está profundamente ligada à memória, à atenção e à expectativa. O cérebro humano constrói a sensação de fluxo temporal a partir da organização sequencial de eventos e da antecipação de mudanças, o que reforça a ideia de que o tempo percebido é uma construção interpretativa, não uma entidade objetiva.

Assim, a noção de um tempo que flui é possivelmente uma ilusão gerada pela estrutura do cérebro, que depende de memória, antecipação e entropia para construir uma narrativa contínua da realidade. Ou seja, o tempo pode não ser uma linha pela qual nos movemos, mas uma estrutura interpretativa que organizamos a partir de correlações físicas e psíquicas. Se o tempo não flui, não há como viajar nele - assim como não há como “viajar em uma metáfora”.

3.3 Paradoxos temporais e a falácia lógica da reversão

Mesmo nos modelos em que a viagem no tempo é considerada formalmente admissível - como nas soluções da relatividade geral que admitem curvas temporais fechadas -, surgem obstáculos lógicos que desafiam a coerência da própria existência. O mais célebre deles é o chamado paradoxo do avô.

Imagine um viajante que retorna ao passado e impede o encontro de seus avós. Se isso ocorre, ele não poderia ter nascido - o que significa que não poderia ter voltado ao passado para impedir o encontro. O paradoxo está formado: configura-se um dilema lógico.

Esse tipo de dilema é mais do que um problema narrativo: ele evidencia que a reversão temporal viola os princípios fundamentais da lógica formal, como o da não contradição. Não se trata apenas de física - trata-se da estrutura do raciocínio coerente.

Alguns físicos tentaram contornar esse impasse com a hipótese dos universos paralelos ou múltiplas linhas temporais, em que toda ação em um ponto do passado gera um desdobramento da realidade. Essa ideia está presente em propostas como a de Deutsch (2011), que usa a interpretação de muitos mundos da mecânica quântica para defender a possibilidade de “viagens coerentes” no tempo, desde que não interfiram com a linha de causalidade original.

No entanto, essa proposta encontra resistência entre filósofos da ciência e físicos como Callender e Barbour, que argumentam que a multiplicação de realidades não resolve o paradoxo, mas o desloca para um plano ontológico especulativo. Barbour, por exemplo, rejeita a ideia de continuidade entre estados temporais, o que inviabiliza qualquer forma de bifurcação causal. Já Callender critica a ausência de critérios empíricos que sustentem tais ramificações, apontando que a explicação científica deve se limitar ao que é observável e testável.

Contudo, essa solução desloca o problema: para escapar da contradição, é necessário criar infinitas bifurcações ontológicas, sem qualquer evidência empírica, o que compromete sua força científica. Além disso, como destaca Callender (2017, p. 204), qualquer modelo que dependa da existência de outras realidades inacessíveis e incomunicáveis esvazia o conceito de explicação científica. Ele escreve: “Falar de universos que não interagem conosco não é física, é metafísica fraca”.

Outro argumento importante é o princípio da consistência de Novikov (2003), que afirma que, mesmo em presença de curvas temporais fechadas, os eventos devem se auto consistir. Ou seja, nenhuma ação realizada no passado pode alterar o curso do tempo de forma a gerar contradição. Mas isso leva a outro problema: o determinismo absoluto, em que mesmo as tentativas de mudança já estão incorporadas no enredo do tempo - o que elimina o livre-arbítrio e transforma a viagem no tempo em um mero teatro sem agência.

Além disso, há implicações filosóficas profundas: se o tempo permite reversão, a identidade pessoal e a causalidade tornam-se instáveis. Como sustenta Paul Ricoeur (1990), a narrativa temporal é constitutiva da identidade; sem uma linha de continuidade, o sujeito se dissolve em múltiplas possibilidades incoerentes. Isso reforça a ideia de que os paradoxos temporais não são apenas problemas físicos, mas ameaças à própria inteligibilidade da experiência.

Em qualquer abordagem - paradoxal, bifurcada ou consistente -, o que se revela é o seguinte: o tempo, como dimensão a ser “atravessada”, é logicamente inviável.

3.4 Reflexões sobre a impossibilidade de retornar ao passado: limites ontológicos

Mesmo que se conceba, teoricamente, um dispositivo capaz de manipular o tempo, resta a questão crucial: a que lugar exatamente se retornaria? A concepção popular de que “o tempo é um eixo pelo qual se pode transitar” pressupõe que o passado ainda existe em algum lugar, como uma sala deixada para trás em um corredor contínuo. No entanto, nenhuma teoria física moderna sustenta isso.

Na relatividade, os eventos são definidos por suas coordenadas espaço-temporais (x, y, z, t), mas essas coordenadas não persistem como camadas empilhadas; elas são relações entre eventos dentro de uma rede causal. Uma vez que a Terra, o Sol e a galáxia se moveram, as configurações anteriores do universo deixaram de existir fisicamente. Não há uma topologia física persistente que represente o passado como um domínio acessível.

Essa formulação encontra ressonância no pensamento de Julian Barbour, para quem o tempo é apenas uma ordenação de estados de configuração. Não há um eixo contínuo - há apenas “instantes” independentes, sem vínculo de passagem entre si. Para Barbour (2020), portanto, não há “voltar” ao passado, porque o passado não é um lugar - é uma comparação entre estados presentes.

Lee Smolin (2013), por outro lado, propõe uma defesa do tempo como entidade real e dinâmica, argumentando que o “agora” possui primazia ontológica e que o passado não é apenas uma abstração. No entanto, mesmo Smolin reconhece que não há evidência empírica de que o passado persista como estrutura acessível, o que o aproxima, em última instância, da posição relacional.

Além disso, o deslocamento temporal exige um deslocamento espacial, já que o universo está em expansão acelerada. A cada segundo, a distância entre os corpos aumenta. Portanto, mesmo que alguém tentasse voltar ao instante de 10 minutos atrás, teria que calcular não apenas a coordenada temporal, mas a posição exata do sistema solar, da Terra, e de si mesmo naquele instante, em relação a um universo em expansão dinâmica.

Em termos de causalidade, isso também implicaria reconstruir o entrelaçamento quântico de todos os sistemas do universo naquele momento - o que, segundo a física quântica, não é reversível. Como aponta Rovelli (2018), a flecha do tempo é resultado do crescimento da entropia e da perda de correlações quânticas. O passado não está mais acessível fisicamente nem reconstruível matematicamente.

A própria linguagem contribui para a ilusão de que o tempo é um espaço. Como argumentam Lakoff e Johnson (1999), metáforas espaciais como “voltar no tempo” ou “olhar para o futuro” moldam nossa cognição e reforçam concepções equivocadas sobre a natureza temporal. O tempo, nesse sentido, não é um cenário por onde transitamos, mas uma construção linguística que organiza a experiência.

Em síntese, a viagem ao passado esbarra em dois limites intransponíveis: (a) o passado não é um espaço armazenado, mas uma ausência - uma não-coordenada, uma ausência de realidade. (b) retornar ao passado equivale a tentar acessar uma configuração que já não possui existência física ou causal.

Essa impossibilidade ontológica de retornar ao passado espelha-se na simétrica impossibilidade de alcançar o futuro como algo que “já está pronto, à nossa espera”, bastando alcançá-lo - como se o tempo fosse uma estrada pavimentada na qual bastaria acelerar.

A relatividade nos permite falar de dilatação temporal: em velocidades próximas à da luz, o tempo se desacelera em relação ao observador em repouso. E o conhecido “paradoxo dos gêmeos”, no qual um astronauta retorna à Terra tendo envelhecido menos do que seu irmão. Mas isso não é viagem ao futuro, é vivência em tempos próprios diferentes, segundo coordenadas relativísticas.

Esse fenômeno, conhecido como dilatação do tempo, é uma das previsões mais notáveis da teoria da relatividade restrita. Descrita matematicamente por:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

A dilatação do tempo ocorre porque, à medida que um corpo se aproxima da velocidade da luz, o tempo medido por esse corpo passa mais lentamente em relação ao tempo medido por um observador em repouso. Isso não é uma ilusão ou um erro de medição, mas uma consequência real da estrutura do espaço-tempo. A dilatação temporal foi confirmada experimentalmente, por exemplo, na observação de múons atmosféricos e em relógios atômicos embarcados em satélites. No entanto, é importante destacar que essa diferença na passagem do tempo não implica uma viagem ao futuro como deslocamento ativo: trata-se apenas de uma defasagem entre dois referenciais e não de um salto temporal para um “futuro já existente”.

A dilatação do tempo não nos leva ao futuro - apenas nos faz experienciar um presente diferente daquele de quem ficou.

Além disso, na relatividade geral, as soluções que preveem conexões com o futuro - como buracos de minhoca ou regiões hiperbólicas de espaço-tempo - ainda assim dependem da

existência de um “futuro-alvo” já estabelecido, o que não é fisicamente consistente com a indeterminação fundamental do universo.

A mecânica quântica reforça essa visão: o futuro é um conjunto de possibilidades não realizadas. Em nenhuma formulação da teoria - nem mesmo na interpretação de muitos mundos - o futuro é um “espaço” que possa ser alcançado ou visitado. Ele é, na melhor das hipóteses, um espectro de estados potenciais, cuja realização depende do colapso de funções de onda e de interações que ainda não ocorreram.

O tempo, assim como o espaço, pode ser descrito como uma estrutura relacional e emergente, mas com uma diferença fundamental: enquanto o espaço é composto por dimensões simultâneas, o tempo se manifesta de forma sucessiva. Isso significa que, ao contrário do espaço, onde diferentes posições coexistem, os instantes temporais não estão todos “presentes” ao mesmo tempo. O passado já deixou de existir, o futuro ainda não chegou, e apenas o presente se manifesta como realidade atual. Essa assimetria entre espaço e tempo é o que impede que o tempo seja tratado como uma dimensão navegável nos mesmos termos das dimensões espaciais. Não há um “lugar” onde o passado ou o futuro estejam armazenados, há apenas a sucessão de estados presentes.

Essa concepção nos permite formular como princípios: (a) o futuro não está realizado, então não se pode ir a ele. (b) se não há um “onde”, não há um “para onde”.

Portanto, assim como não há passado para onde voltar, também não há futuro para onde partir. O tempo é o plano da atualidade em permanente transformação, não uma estrada em múltiplos sentidos.

3.5 Distorções do espaço-tempo e a hipótese da dobra temporal

A relatividade geral permite, em seu formalismo matemático, a existência de geometrias altamente distorcidas do espaço-tempo conhecidas como soluções exóticas das equações de Einstein. Entre elas, destacam-se os buracos de minhoca e os cilindros rotativos, que, em teoria, poderiam conectar regiões distintas do espaço-tempo, criando atalhos, ou as chamadas “dobras”, que encurtariam distâncias e, em certos casos, permitiriam conexões entre diferentes momentos temporais (Gödel, 1949). Essas estruturas, embora fascinantes, exigem condições físicas extremas, como a presença de matéria com energia negativa, cuja existência ainda não foi confirmada empiricamente (Callender, 2017).

Além disso, sua estabilidade e coerência causal permanecem altamente controversas. A análise dessas hipóteses, portanto, não apenas desafia os limites da física teórica, mas também

levanta questões ontológicas profundas sobre a natureza do tempo, da causalidade e da própria realidade.

Entre as soluções mais discutidas estão os chamados buracos de minhoca, também conhecidos como pontes de Einstein-Rosen (Einstein, 1935). Essas estruturas hipotéticas funcionariam como túneis conectando dois pontos distintos do espaço-tempo, permitindo uma travessia quase instantânea entre eles. Embora matematicamente admissíveis, os buracos de minhoca exigem a presença de matéria exótica — substâncias com densidade de energia negativa — para manter sua abertura estável e evitar o colapso gravitacional. Até o momento, não há evidência empírica da existência de tal matéria, o que limita a viabilidade física dessas soluções.

Outra proposta teórica é o cilindro de Tipler, uma solução das equações de Einstein que descreve um cilindro infinitamente longo e em rotação acelerada (Tipler, 1974). Essa rotação distorceria o espaço-tempo ao seu redor de tal forma que permitiria a formação de curvas temporais fechadas, possibilitando, em tese, a viagem ao passado. No entanto, além de exigir densidade de massa e energia praticamente inalcançáveis, o modelo enfrenta objeções tanto à sua consistência causal quanto à ausência de mecanismos naturais que levem à formação dessas estruturas.

Essas soluções exóticas, ao permitirem trajetórias que retornam ao passado, enfrentam o problema dos paradoxos temporais. O mais conhecido é o paradoxo do avô, no qual um viajante do tempo poderia impedir sua própria existência. Para contornar essas contradições, alguns físicos propuseram o princípio da autoconsistência, segundo o qual os eventos em uma linha temporal com curvas fechadas devem ser logicamente coerentes e não podem alterar o passado de forma contraditória (Novikov, 2003). Ainda assim, essa abordagem levanta dúvidas sobre o livre-arbítrio e a natureza determinista do universo.

Do ponto de vista epistemológico, a hipótese da dobra temporal desafia os critérios tradicionais de testabilidade e observação empírica. A maioria das soluções que preveem tais estruturas depende de condições que extrapolam os limites experimentais atuais, como energia negativa, geometrias não triviais e escalas cosmológicas extremas. Metafisicamente, essas propostas exigem uma reavaliação da própria noção de tempo como dimensão navegável, o que entra em conflito com interpretações que tratam o tempo como uma construção relacional e emergente (Barbour, 2020). Assim, embora matematicamente possíveis, as dobras temporais permanecem, por ora, no domínio da especulação teórica.

4 Considerações finais

A hipótese da viagem no tempo, ainda que fascinante, não resiste a uma análise que combine física contemporânea e filosofia ontológica. Este artigo buscou demonstrar que a impossibilidade de se deslocar no tempo não é apenas tecnológica ou matemática, mas ontológica: o passado não existe mais como espaço e o futuro ainda não existe como realidade.

A relatividade nos ensina que o tempo é uma coordenada relacional, não um cenário contínuo por onde se pode transitar livremente. A mecânica quântica reforça essa noção, tratando o futuro como um espectro probabilístico e o passado como um conjunto de estados colapsados e irrecuperáveis. A termodinâmica, por sua vez, fixa a irreversibilidade na própria estrutura física do universo.

As tentativas de tornar viável a viagem temporal - como curvas temporais fechadas, buracos de minhoca ou interpretações de multiversos - acabam por recorrer a entidades hipotéticas, inconsistentes ou metafisicamente controversas. Paradoxos lógicos, como o do avô, revelam que a reversão temporal fere os princípios básicos da causalidade e da consistência.

Ao longo deste trabalho, argumenta-se que, tanto pela ausência ontológica do passado quanto pela inexistência fática do futuro, o tempo não permite ser cruzado. Ele não é um rio a ser navegado, mas uma estrutura relacional emergente, que só se manifesta no presente. O agora é o único plano de realidade observável, o único onde o ser se revela e o único campo no qual o universo pode ser compreendido.

Como desdobramento teórico, este estudo sugere que a compreensão do tempo como estrutura emergente pode impactar não apenas debates sobre viagem temporal, mas também reflexões sobre identidade, causalidade e a própria natureza da realidade. Investigações futuras podem explorar como diferentes modelos físicos e filosóficos lidam com a temporalidade em contextos como a cosmologia, a neurociência e a inteligência artificial, ampliando o alcance interdisciplinar da questão.

Referências

BARBOUR, J. **O fim do tempo**: a próxima revolução na física. Tradução de Marcelo Brandão Cipolla. São Paulo: Editora Unesp, 2020.

BOLTZMANN, L. The second law of thermodynamics. In: BRUSH, Stephen G. (org.). **Kinetic theory**. Vol. 2. Oxford: Pergamon Press, 1986.

CALLENDER, C. **What Makes Time Special?** Oxford: Oxford University Press, 2017.

DEUTSCH, D. **A realidade da realidade**: a nova física da cosmologia e da mente. Tradução de Renato Aguiar. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

EAGLEMAN, D. **Incógnito**: as vidas secretas do cérebro. Tradução de Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

EINSTEIN, A. **Zur Elektrodynamik bewegter Körper**. Annalen der Physik, v. 17, 1905.

EINSTEIN, A.; ROSEN, N. The particle problem in the general theory of relativity. **Physical Review Journals Archive**, v. 48, n. 1, 1935. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.48.73>. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.48.73>. Acesso em: 10 out. 2025.

GÖDEL, K. An example of a new type of cosmological solution of Einstein's field equations of gravitation. **Reviews of Modern Physics**, v. 21, n. 3, 1949. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.21.447>. Disponível em: <https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.21.447>. Acesso em: 10 out. 2025.

LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metaphors we live by**. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

NOVIKOV, I. D. O rio do tempo: viagens pelo passado e pelo futuro. Tradução de Antonio M. F. Bonfim. São Paulo: Editora Unesp, 2003.

RICOEUR, P. **Tempo e narrativa**. Tradução de Maria do Rosário Gregolin. Campinas: Papirus, 1990.

ROVELLI, C. **The order of time**. New York: Riverhead Books, 2018.

SMOLIN, L. **Time reborn**: from the crisis in physics to the future of the universe. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013.

TIPLER, F. J. Rotating cylinders and the possibility of global causality violation. **Physical Review D**, v. 9, n. 8, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.9.2203>. Disponível em: <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.9.2203>. Acesso em: 10 out. 2025.

Data de submissão: 30/07/2025

Data de aceite: 26/08/2025