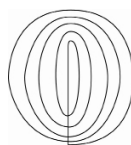


SUBSTANTIVISMO E RELACIONISMO

EDIÇÃO DE 2026 do

COMPÊNDIO EM LINHA DE PROBLEMAS DE FILOSOFIA ANALÍTICA

2018-2021 FCT Project PTDC/FER-FIL/28442/2017



Editado por
Ricardo Santos e David Yates

ISBN: 978-989-8553-22-5

Compêndio em Linha de Problemas de Filosofia Analítica
Copyright © 2026 do editor
Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa
Alameda da Universidade, Campo Grande, 1600-214 Lisboa

Substantivismo e Relacionismo
Copyright © 2026 do autor
Elton Marques

DOI: <https://doi.org/10.51427/cfi.2022.0015>

Todos os direitos reservados

Resumo

Substantivismo e relacionismo são doutrinas rivais sobre a natureza do espaço-tempo. O debate que envolve essas teorias é clássico e recebeu influência de autores como Aristóteles, Descartes, Leibniz, Newton, Ernest Mach e muitos outros. Basicamente, os autores defendem ou uma noção de espaço e tempo como ‘independentes’ ou uma noção ‘relacional’, caso em que dependem de outros entes para adquirir, por assim dizer, a sua constituição ontológica. Este artigo pretende ser uma apresentação bem informada sobre o tema, cobrindo tópicos como o desenvolvimento histórico, a relação entre espaço, tempo e movimento, os argumentos neo-leibnizianos, as respostas substantivistas aos desafios empiristas, as questões que se relacionam com a física contemporânea e as razões para advogar quaisquer dessas doutrinas. Ao final, apresento um comentário de caráter geral sobre o debate, contemplando expectativas para o futuro, argumentando em favor de uma postura eclética de caráter conciliador, inspirada em Hinckfuss (1988), Earman (1989), Rovelli (2017) e outros.

Palavras-chave

Substantivismo, relacionismo, Princípio de Mach, Argumento do Buraco, espaço-tempo.

Abstract

Substantivism and relationalism are rival doctrines concerning the nature of space-time. The debate surrounding these theories is longstanding and has been shaped by thinkers such as Aristotle, Descartes, Leibniz, Newton, Ernst Mach, and many others. Broadly speaking, one may adopt either a conception of space and time as independent entities or a relational conception, according to which they depend on other entities for their ontological constitution. This article offers a well-informed introduction to the topic, covering issues such as its historical development, the relationship between space, time, and motion, neo-Leibnizian arguments, substantivist responses to empiricist challenges, and questions arising from contemporary physics. It also examines the motivations for endorsing each of these doctrines. Finally, I offer a general assessment of the debate, considering future prospects and arguing in favour of an eclectic and conciliatory stance inspired by Hinckfuss (1988), Earman (1989), Rovelli (2017), and others.

Keywords

Substantivism, relationalism, Mach's Principle, the Hole Argument, space-time.

Substantivismo e Relacionismo

DOI: <https://doi.org/10.51427/cfi.2022.0015>

1 Substantivismo

O primeiro tópico que devemos cobrir é este: o que é esta doutrina, o substantivismo? O que professam os seus defensores, e porquê? Veremos que o substantivismo tem uma herança histórica, mas deve ser entendido como uma tese independente e atual, com contornos próprios. Historicamente, o substantivismo remete à doutrina do génio do Iluminismo inglês, Isaac Newton (1643-1727). Segundo o grande cientista, o espaço e o tempo são absolutos (Newton 1990: 7). São como, por assim dizer, 'pseudo-substâncias', não sendo muito claro o que se poderia entender por este conceito. Em uma interpretação possível, espaço e tempo assemelham-se a substâncias, porém, não adquirem, na filosofia newtoniana, o estatuto próprio de uma substância (cf. Hoefer et. al. 2021).¹ Assim, poder-se-ia pensar nesta doutrina, o substantivismo, como uma versão contemporânea da tese newtoniana, especialmente adaptada para o contexto das teorias da relatividade. Mas essa estratégia de apresentação esconde diferenças entre semelhanças. Na versão newtoniana, o espaço e o tempo são entes cuja existência necessária se segue de propriedades divinas, tais como, por exemplo, onipresença e eternidade (Rynasiewicz, 2014). O substantivismo contemporâneo, por sua vez, prescinde completamente de elementos teológicos presentes na filosofia newtoniana (embora não haja aqui nenhuma incompatibilidade). Espaço e tempo são, em uma analogia importante usada pelo cientista inglês, o *Sensorium Dei* (Burt 2003: 261), ou a sensibilidade com que Deus percebe o mundo.²

1 Embora apenas o espaço seja referido como pseudo-substância, o estatuto absoluto do tempo na doutrina de Newton sugere um tratamento semelhante.

2 Na alegoria newtoniana, o espaço e o tempo são comparados à sensibilidade (órgão da sensação) com que Deus percebe o mundo. Faz parte da doutrina do *Sensorium* a ideia de que o espaço é uma manifestação da infinitude e onipresença

O filósofo que tornou corrente o termo 'substantivismo', ao que se sabe, foi Sklar (1974), mas o primeiro uso de que se tem notícia nos remete ao filósofo e lógico de Cambridge, Ernest Johnson (1924: 79). Johnson refere o espaço absoluto como substantival (um neologismo utilizado para a doutrina que atribui as posições espaciais diretamente aos pontos no espaço (cf. Logic, 1924. Part 3: 'The Logical Foundations of Science'), e para o espaço derivado e dependente de relações, o termo utilizado é *adjetival*. 'Substantivismo' tem vindo então a designar o corpo de doutrinas que confere ao espaço-tempo o estatuto de uma 'substância'.³ Mas o que significa, contudo, ter esse estatuto ontológico — o de ser uma substância? Ser uma substância, no contexto deste debate, está relacionado com a admissão de independência ontológica. Para satisfazer esse estatuto, espaço e tempo têm de ser como entidades adicionais no inventário do mundo, irreduzíveis e totalmente independentes (independência existencial) em

divinas, bem como o tempo uma manifestação da sua eternidade. Em verdade, no judaísmo palestino do século 1dc., a palavra *Makom* ou lugar é um dos nomes atribuídos a Deus — Deus é o lugar (*Makom*) do mundo, mas o mundo não é o seu lugar (cf. Jammer 2010: 54-55). Na gênese do absolutismo, teses teológicas como essas obtinham prevalência, sobretudo na cabala judaica, mas também em autores modernos como Henry More (1614-1687) e Isaac Barrow (1630-1677), o mestre de Newton.

3 A noção de substância, num sentido habitual, é pensada como aplicando-se a objetos físicos — aqueles que ocupam lugar no espaço e no tempo —, a exemplo de cadeiras, mesas, relógios, etc. Todavia, a noção técnica, tal como utilizada por filósofos, admite um uso mais amplo. Veja-se por exemplo a noção de substância pensante (*res cogitans*) em Descartes, que certamente demarca diferenças para o uso habitual e cotidiano de 'substância'. O conceito de substância tem, além disso, um longo histórico na filosofia, e o leitor consciencioso irá encontrar noções diversas que se relacionam de maneira sutil, embora diferentes em muitos aspectos. Assim, Aristóteles, nas *Categorias* (Aristóteles 1963), trabalha com o conceito de substância em um sentido primeiro — orelha (o cão) — e em um sentido segundo — os cães em geral (cf. Robinson e Weir 2024). Já Descartes define substância como aquilo que 'é capaz de existir independentemente', aquilo que 'existe por si mesmo' ou, ainda, 'aquilo que existe de tal maneira que não depende de outra coisa para existir' (Descartes 1985, Volume 7: 44, 226; Volume 8, parte A: 24). Locke também apresenta a noção de 'substância' de maneira semelhante. Segundo o empirista, o termo designa uma espécie de substrato para as propriedades, que não podem existir sem este 'alicerce' (Locke: II xxiii 2). Nesta entrada, a noção cartesiana de substância será adotada para esclarecer em que sentido espaço e tempo podem ser substâncias.

relação aos objetos, eventos e propriedades que ocorrem no espaço e no tempo. Doravante, neste artigo, pelo estatuto ontológico de substância, a ser atribuído ao espaço tempo, significo este tipo fundamental de independência ontológica. É isso que, ao fim e ao cabo, substantivismo significa, ainda nos dias de hoje.

Uma versão atrativa do substantivismo é apresentada como um realismo sobre 'pontos no espaço-tempo'. Essa versão afirma a existência de pontos que não dependem das relações entre objetos, eventos e processos (Butterfield, 1989b: 1-2). Poder-se-ia dizer que o substantivismo é um absolutismo sobre pontos no espaço-tempo, tomando de empréstimo o conceito com o qual a tese newtoniana designava essas entidades.⁴ Convém esclarecer, entretanto, que o termo 'absoluto' é ambíguo entre pelo menos três sentidos independentes. Esses sentidos são sugeridos por Friedman, e aplicam-se sem reservas ao newtonianismo, mas não ao substantivismo contemporâneo, sendo alguns rejeitados por serem incompatíveis com as teorias da relatividade:

1. Espaço e tempo enquanto existentes, independentes de objetos e eventos (independência ontológica);
2. Espaço e tempo como invariáveis, local e temporalmente (invariabilidade local);
3. Espaço e tempo como fixos e não dinâmicos – capazes de afetar o movimento dos corpos sem por eles serem afetados (fixidade).

Segundo Friedman, os sentidos 1, 2 e 3 são independentes, e alguém poderia, por exemplo, negar 2 sem negar 1 ou 3 (Friedman, 1983: 65). Com efeito, após a relatividade einsteiniana de 1905, parece natural rejeitar que existam as quantidades absolutas que eram prerrogativas newtonianas. No entanto, faça-se a ressalva de que a

⁴ Adeptos de alguma forma de absolutismo ou substantivismo são, por exemplo, Pierre Gassendi, Newton, Samuel Clark, Butterfield, Rynasiewicz, Maudlin e muitos outros. Na verdade, com o sucesso da física newtoniana, o absolutismo acabou vitorioso por alguns séculos, sendo desafiado pontualmente até perder forças com o advento da relatividade. É de Gassendi a seguinte máxima: *Ideo Videntur Locus et Tempus non pendere a corporibus corporeaque adeo accidentia non esse*, i.e., 'Assim eles, o espaço e o tempo, não dependem dos corpos e do corpóreo, tal que não são acidentes destes (apud Jammer 2010: 123).

teoria de Einstein é compatível com pelo menos algumas quantidades absolutas, como, por exemplo, os intervalos de espaço-tempo. A física contemporânea, salvo interpretações desafiantes da relatividade (Lorentz 1892, FitzGerald 1889, Builder 1971, Ives 1979, Prokhorovnik 1985, 1987 e 1988, Balashov 2000, Markosian 2004, e Craig, Maudlin, Callender, Smith 2008), não subscreve relações de simultaneidade absoluta; apesar disso, continua a haver relações de anterioridade e posterioridade absolutas (como, por exemplo, dentre aqueles eventos que têm uma separação do tipo-tempo – *time-like* – no espaço-tempo), além das chamadas relações de *absolute elsewhere* (eventos que têm uma separação do tipo-espaço – *space-like* – entre si. Relativamente aos últimos, dizemos que não há nenhuma relação causal possível entre eles, uma vez que um sinal causal qualquer que os pudesse conectar teria de viajar a velocidades maiores do que a velocidade da luz, algo impossível segundo a própria teoria.⁵

O sentido 3 em que o espaço e o tempo podem ser absolutos também merece, neste ensaio, um destaque particular, dada a expectativa newtoniana de poder demonstrar as componentes absolutas de sua doutrina – espaço, tempo e movimento absolutos. Newton não pensava poder erigir uma física puramente relacional, o que filósofos e cientistas, especialmente os empiristas, munidos de doutrinas anti-metafísicas do significado e da confirmação, pensavam e pensam ser o ideal. O cientista inglês acreditava no que Mach considerava uma 'monstruosidade metafísica', como se referia ao espaço e ao tempo newtonianos, no prefácio da segunda edição do seu livro mais importante, *A ciência da Mecânica*.⁶ O grande desafio para o gênio inglês seria demonstrar ou provar aquilo que na sua física ocupava o lugar de 'absoluto', e dentre as coisas que podemos mencionar com esse estatuto, o 'movimento', considerado meramente relacional sob influência, principalmente, de Galileu, tem um papel fundamental.

5 Um intervalo *time-like* consiste em uma separação entre dois eventos no espaço-tempo. Eventos separados por intervalos destes podem estar relacionados causalmente, uma vez que um evento pode influenciar o outro sem violar o limite da velocidade da luz.

6 Este é o trabalho mais importante de Mach, cujo original é de 1883. Neste livro, o autor procura ultrapassar a mecânica newtoniana, fundamentando, desde as definições, uma física puramente relacional.

É importante ressaltar a expectativa newtoniana de demonstrar a distinção entre movimento absoluto e relativo. Por meio dessa demonstração, Newton conseguiria que os conceitos de espaço e tempo absolutos fossem aceites. É nesse contexto que 1 e 3 se relacionam, sendo 1 o sentido substantivista propriamente dito – aquele que vamos adotar como paradigma para o que 'substantivismo' significa.

Para terminar a primeira seção, convém reforçar ainda este aspecto fundamental do substantivismo, no sentido acima apresentado: a sua relação com o realismo científico.⁷ Numa das versões mais salientes na literatura, o substantivismo torna-se um realismo sobre a existência de pontos no espaço-tempo, motivado, em grande medida, pelos compromissos ontológicos das nossas melhores teorias científicas.⁸ Segundo Butterfield (1988, 1989), temos um compromisso forte com entidades como pontos no espaço-tempo porque quantificamos sobre elas, explícita ou implicitamente, no contexto das nossas melhores teorias:

O substantivismo é a tese de que a nossa melhor teoria física nos compromete com a existência de pontos no espaço-tempo e, talvez, estejamos comprometidos com o espaço-tempo como um todo, enquanto fusão mereológica desses pontos. A popularidade dessa afirmação reflete um crescimento do realismo científico, principalmente a partir de meados dos anos 60. O realismo científico é a tese de que estamos comprometidos com aquelas entidades inelimináveis que são referidas e/ou quantificadas em nossa melhor teoria científica. E nossa melhor teoria sobre o espaço-tempo, em geral, apresenta-se quantificando sobre pontos no espaço-tempo, e não há nenhuma ressalva acerca de como essas quantificações poderiam ser eliminadas. Como entusiasta do realismo científico, essa versão do substantivismo parece-me atraente (Butterfield, 1989b: 9).⁹

⁷ É importante ressaltar que o realismo científico é efetivamente uma das motivações teóricas para endossar o substantivismo, no sentido preciso e específico de 'independência ontológica'. Sobre haver invariabilidade (localidades absolutas no espaço e no tempo) ou fixidade (espaço-tempo não-dinâmico), realistas científicos, como Butterfield, certamente não o endossariam. Naturalmente, sendo os sentidos de absoluto apresentados por Friedman logicamente independentes entre si, nada na admissão de independência ontológica poderia nos comprometer com teses descaracterizadoras das teorias da relatividade, como a 'fixidade' ou a 'localidade absolutas'.

⁸ Para saber mais sobre 'compromisso ontológico', ver principalmente o clássico de Quine, no qual a noção é introduzida e discutida apropriadamente (1986).

⁹ Todas as traduções utilizadas neste artigo são minhas, salvo quando houver menção em contrário.

Como se pode ver, o substantivismo é muitas vezes uma opção teórica motivada pelo realismo científico, e o relacionismo tende a encontrar a sua motivação no empirismo anti-metafísico e anti-realista, embora haja muitas variáveis e isso não seja necessariamente imutável.

1.1 *Argumentos dinâmicos*

Ao considerar um balde suspenso por uma corda, Newton concebeu seu célebre experimento mental, cujo poder explicativo se relaciona com os sentidos 1 e 3 de absoluto, acima. Newton pensa poder explicar o comportamento da água no balde, ao mesmo tempo em que 'prova' haver espaço e movimento absolutos. Embora haja discordância entre os intérpretes acerca da melhor interpretação para este argumento, uma maneira segura de compreendê-lo consiste em reconstruir a estrutura argumentativa da prova newtoniana, que é dada na seguinte direção: prova-se a existência de movimento absoluto (pela rotação verdadeira da água no balde) para, a seguir, argumentar que este movimento não faz sentido sem o espaço absoluto (o espaço absoluto é, nesse caso, o referencial em relação ao qual a água executa o seu movimento rotacional).¹⁰ Como se sabe, o alvo principal dessas considerações era o relacionismo de Descartes, em especial a sua concepção de espaço e movimento (cf. Hoefer 2021; Rynasiewicz 2014). Contudo, se bem sucedido, o argumento dinâmico dos *principia* pode facilmente ser usado na recusa do relacionismo em geral.

Imagine-se um balde preenchido até a metade com água, pendurado por uma corda que lhe dá sustentação. Imagine se agora que essa corda é torcida até ao limite, quando depois é solta. O balde tenderá

¹⁰ Newton concebe a diferença acima como uma diferença entre 'movimento verdadeiro' — aquele que não é gerado nem alterado, mas impresso sobre o corpo por alguma força — e movimento meramente aparente dos corpos — aquele que pode ser gerado ou alterado sem que nenhuma força lhe seja impressa. Como as partes do espaço imóvel não estão disponíveis à observação direta, a distinção entre os tipos acima é muito difícil de realizar. Contudo, Newton aponta um critério: *os efeitos que distinguem o movimento absoluto e o relativo são as forças que afastam os corpos do eixo de movimento circular. Não existem tais forças em um movimento circular puramente relativo, mas, em um movimento circular verdadeiro e absoluto, elas são maiores ou menores, conforme a quantidade do movimento.* (Newton 1999, *Scholium to the Definitions*)

então a girar repetidas vezes, em sentido contrário. Após alguns instantes, o balde transmitirá o seu movimento à água, que apresentará um comportamento de fuga (centrífugo) em relação ao centro, a subir pelas paredes do recipiente. Como explicava Newton o comportamento da água no balde, ou seja, como explicava o movimento da água enquanto efeito inercial observável? Em um primeiro momento, a água e o balde estão em movimento relativo, e a superfície da água, por influência gravitacional da Terra, permanece em repouso. Num segundo momento, quando o balde cessa seu movimento, a água avança pela parede do recipiente, em um movimento rotacional a formar uma concavidade. Para Newton, a água exibe um comportamento indicador de sua evolução relativamente ao espaço absoluto, o comportamento típico de um 'movimento verdadeiro', independente de todo e qualquer outro sistema envolvido. Mach, talvez o maior adversário de Newton nessa matéria, atribui ao autor dos *principia* a tese de que o comportamento da água, quando a formar uma concavidade, na experiência de pensamento em questão, prova a existência do espaço absoluto. O espaço em si seria a única referência para esse movimento. Mas essa leitura do argumento é considerada insuficiente por diversos autores (cf. Hoefer et. al. 2001). Ora, mesmo excluído o balde, seria possível indicar outros referenciais, todos materiais. Quando consideramos o sistema envolvido no experimento de Newton, alguns candidatos naturais e um candidato metafísico distinguem-se. Espaço, balde, Terra ou 'estrelas fixas' são os candidatos em questão, dos quais o espaço é o único candidato metafísico (não-empírico), i.e., postulado como elemento explicativo, apesar de não disponível aos sentidos, direta ou indiretamente.¹¹

Segundo Dasgupta, Newton tentava explicar o porquê da água exibir esse comportamento, e a explicação envolve um sentido privilegiado para o movimento rotacional (Dasgupta 2015). Basicamente, o 'movimento verdadeiro' da água se deixa mostrar por um efeito

¹¹ Note-se que, na ciência, há muitas entidades não acessíveis direta ou indiretamente aos sentidos. Algumas dessas entidades são aceitas na condição de uma inferência pela melhor explicação, como, por exemplo, a matéria escura. Apesar de classificarmos entidades dessas como metafísicas, via de regra, a não disponibilidade à experiência imediata não se configura em uma condição necessária ou suficiente para esse enquadramento, a exemplo do estatuto que têm entidades como elétrons, campos etc.

sensível, i.e., quando a subir pela parede do balde, a água exibe um efeito de inércia específico, jamais observado em qualquer movimento meramente relativo. Podemos, então, distinguir esse movimento de outros, como, por exemplo, a água e o balde a moverem-se entre si, ou ambos a moverem-se em relação à Terra, etc. Num movimento meramente relativo, tais efeitos jamais apareceriam. Essa interpretação parece natural à luz das palavras do próprio Newton, o qual reconheceu, na força centrífuga, o sinal distintivo de um 'movimento verdadeiro': 'os efeitos que distinguem o movimento absoluto e o relativo são as forças que afastam os corpos do eixo de movimento circular' (Newton, 1962: 10).

Newton esperava poder identificar o 'movimento verdadeiro' por meio de forças que o indicassem.¹² Era suposto que este movimento se denunciaria por haver uma força real a atuar no corpo retirando-o do estado de repouso. Assim, Terra e 'estrelas fixas' exercem influências de natureza meramente gravitacional sobre a água, não sendo candidatas admissíveis. O Balde, por sua vez, não é um bom candidato, uma vez que sua influência sobre a água permanece inalterável, em qualquer momento, enquanto o experimento se realiza. Isso significa que o comportamento da água a subir pela superfície não se deve ao movimento da água em relação ao balde (Assis 1998: 51).

Imagine-se ainda duas esferas ligadas por uma corda, as quais atuam como um 'corpo de prova' num ambiente infinitamente afastado de toda matéria no universo. Ou, numa versão alternativa, imagine-se as mesmas esferas como um sistema solitário, destituído da companhia de outros, i.e., num mundo possível completamente vazio de tudo o mais. Se as duas esferas fossem postas a girar, a seguinte questão tornar-se-ia pertinente: qual seria o referencial a partir do qual esse movimento poderia ser indicado? Os candidatos naturais passam a ser, novamente, o céu de estrelas fixas e o espaço absoluto. O absolutista newtoniano defende que o movimento verdadeiro das esferas se denunciaria por um efeito inercial perceptível por uma tensão mensurável na corda. Ora, seria difícil atribuir esse 'efeito inercial' apenas às estrelas fixas, como sugere Mach, uma vez que essas ou se encontram infinitamente afastadas, ou não existem (a depender da versão escolhida para este experimento mental). Newton não

¹² Newton também designava o movimento absoluto por 'movimento verdadeiro'.

formulou este segundo experimento. Entretanto, é fácil perceber que o mesmo é perfeitamente adequado para explicar o argumento dinâmico do autor: concebido para provar a independência ontológica do espaço em relação aos objetos, eventos, propriedades, uma vez que tal independência atua, na dialética da argumentação, como fundamento para um tipo de movimento (o movimento verdadeiro).¹³ Em verdade, é assim que o argumento do balde tem sido reconhecido e debatido, como nos mostra o histórico destas questões.¹⁴

1.2 *A falha em exemplificar o princípio de Mach*

O princípio de Mach, assim denominado por Einstein em 1918, enuncia que qualquer efeito de inércia é sempre relativo ao centro de gravidade do universo como um todo (ou o que Mach considerava 'estrelas fixas'). Desde 1912, Einstein vinha referindo esse princípio, que desejava ver exemplificado na relatividade geral. Chamou-o, inicialmente, 'princípio da relatividade da matéria' (Assis e Pessoa 2001: 135). Parte do destaque que queremos, acerca deste princípio, é histórico. A relatividade geral foi pensada por seu autor para atender ao seu enunciado, graças ao carácter empirista da formação intelectual de Einstein, influenciado por leituras filosóficas, especialmente Mach e Hume. Ainda mais importante é o seguinte facto: apesar de Einstein empregar os melhores esforços, a relatividade geral não pôde

13 O argumento depende de que se reconheça haver uma diferença assinalável, que mesmo Leibniz reconhecia (quinta carta, parágrafo 53), entre tipos de movimento: o movimento absoluto verdadeiro e o movimento relativo (a mera mudança de situação dos corpos uns em relação aos outros). Creio ser possível defender, em uma interpretação dentre outras para o experimento do balde, que o argumento pretende provar essa diferença entre movimento verdadeiro e movimento aparente. Neste caso, demonstra-se não haver um referencial físico que possamos indicar para um movimento que, por isso mesmo, tem de ser absoluto, uma vez que se deixa apreender por forças indicativas de sua existência.

14 Cristian Huygens (1629-1695) tem uma solução relacionista diferente para este argumento. Sua solução passa pela reformulação do problema do movimento rotacional. Seja considerado um sistema inercial, digamos, uma roda com um objeto ao seu centro, em rotação e infinitamente afastado das estrelas fixas. Existe, neste caso, rotação absoluta? Pelo contrário, o autor admite apenas o movimento relativo, alegando que, neste sistema, o movimento das partes se daria cada qual entre si.

exemplificar plenamente o princípio de Mach. A proposta de uma física puramente relacional continua sedutora, mas este princípio e sua não exemplificação têm um significado a deixar. Um significado que, *prima facie*, desfavorece o relacionismo.

Relacionistas como Reichenbach depositaram grande esperança de que a relatividade geral, a nossa melhor teoria do espaço e do tempo, realizasse plenamente o programa relacionista. O próprio Einstein manifestou, em determinadas ocasiões, o desejo de que a teoria incorporasse o princípio de Mach (Einstein 1982: 29). Entretanto, tais expectativas não se cumpriram. Com efeito, se não ficar demonstrado que é possível implementar o princípio de Mach, tornar-se-á difícil aceitar a redução completa do espaço-tempo a fenômenos puramente materiais. Podemos citar dois problemas principais com as tentativas machianas: a) a problemática exemplificação do princípio de Mach, no contexto da relatividade geral; b) uma série de consequências da abordagem machiana, até hoje não plenamente satisfeitas. Expectativas machianas foram reconhecidas por Einstein em 1922, mas diversos autores mostram que a sua exemplificação não se deu, pelo menos não perfeitamente, no contexto da relatividade geral (Brans 1962, Reinhardt 1973 e Thirring 1921).

O principal problema com o princípio de Mach, no contexto da relatividade geral, diz respeito ao tema das 'condições de contorno infinito'. Imagine-se um corpo de prova a vagar no infinito, i.e., um objeto a vagar, infinitamente distante, sem qualquer relação com nenhum outro objeto cosmológico. Oferecer condições de contorno equivale a dotar a teoria de um dispositivo regular para descrever o comportamento desse corpo, sua força de inércia, trajetória, sua influência sobre o 'campo gravitacional', etc. Segundo a interpretação compatível com o machianismo, qualquer efeito inercial apresentaria, nessas condições, uma tendência a zero, o que, entretanto, não parece ser verdade. Efetivamente, a situação é ainda mais dramática para o relacionista. Nas condições descritas, o tensor energia-tensão da relatividade geral tende a zero, e o espaço-tempo riemanniano reduz-se ao espaço-tempo de Minkowski, no qual o corpo deveria sofrer efeitos inerciais normais, de acordo com a primeira relatividade. Einstein precisou postular a constante cosmológica para bloquear soluções 'vazias' para a relatividade geral, nas quais o princípio de Mach seria violado – o que acabou por não se mostrar fecundo,

pelo menos não nestes termos, a julgar pelo trabalho de de Sitter (de Sitter 1917), o qual mostrara ser a relatividade geral compatível com soluções vazias (em um espaço-tempo sem matéria). Em um pequeno texto, intitulado 'Princípios concernentes à relatividade geral', Einstein discutiu a síntese que optava por fazer entre a geometria riemanniana e o princípio de Mach (Einstein: 1918). O autor sabia que suas equações não satisfaziam o princípio de Mach. Então, com a finalidade de satisfazê-lo (se associamos a isso as razões empíricas que inicialmente favoreciam a interpretação das equações de campo para um universo estável), introduziu nas equações uma constante com a qual esperava eliminar essa incompatibilidade. A mesma só podia ser eliminada por um modelo que não precisasse de condições de contorno satisfeitas, e tal modelo tornou-se estável quando a constante foi introduzida, i.e., a chamada 'constante cosmológica'.

Num cenário possível, compatível com as equações de campo da relatividade geral, um corpo de prova no infinito apresentaria uma força de inércia, principalmente ao estabelecer uma relação com o espaço ele próprio.¹⁵ Melhor dizendo, haveria ainda uma interação entre espaço-tempo e matéria a produzir um assinalável efeito inercial.¹⁶ Por essas razões, torna-se claro que, ao tratar das teorias da relatividade, há certa concordância entre os estudiosos com respeito à manutenção de elementos absolutos, o que, em princípio, não favorece adotar uma ontologia puramente relacional (Assis e Pessoa, 2001: 184). Segundo Grünbaum, as condições de contorno no infinito são inequívocos elementos newtonianos na física contemporânea,

15 Alguns cientistas apresentam tais interações como exemplos da atuação de campos gravitacionais. Não é claro, entretanto, que a atuação desses campos seja melhor acomodada no arcabouço conceptual do substantivismo. Porém, o relacionismo tampouco fica favorecido. Para um substantivista que descreve esses fenômenos como campos num espaço-tempo substantivo, ver, por exemplo, Rovelli (2017).

16 Para Newton, a inércia era uma propriedade dos corpos, a *vis insita*. Mas, na relatividade geral, tal como para os efeitos gravitacionais como um todo, a inércia torna-se uma consequência da interação entre espaço-tempo e matéria. É interessante notar que, embora atribuir a um efeito destes uma causa puramente relacional seja uma manobra relacionista, quando inserimos o próprio espaço-tempo como único elemento disponível, é o substantivismo que se vê favorecido. O mesmo raciocínio é usado por Newton quando da apresentação do seu argumento dinâmico.

a assumirem o papel de um espaço absoluto (que reforçamos dizer respeito ao caráter de independência ontológica), na contra-mão de esforços relacionistas direcionados à relatividade (Grünbaum 1957: 527-528).

Podemos agora perguntar se a dificuldade em acomodar o princípio de Mach oferece ocasião para defender o substantivismo.¹⁷ O princípio de Mach e outros do gênero se baseiam em exigências empiristas para a cientificidade, muitas delas de fundo verificacionista. Mas o empirismo verificacionista não é mais amplamente adotado, sendo considerado inadequado por muitos autores, pelo menos enquanto critério para a exclusão de entidades como espaço, tempo, éter, etc. Ademais, seria estranho que fosse permitido ao cientista usar recursos teóricos destes, tais como o espaço, o tempo, o conceito de causa (causalidade), a 'força' de atração newtoniana entre corpos, etc, e não fosse possível ao filósofo defender esses mesmos conceitos à maneira do realismo científico.¹⁸ O próprio Einstein, embora desejasse se guiar por princípios anti-metafísicos, não deixou de descumpri-los quando julgou preciso.¹⁹ Seria, assim, permitido evocar e utilizar um conceito para entidades metafísicas, no âmbito de uma teoria científica, quando entretanto é vedado ao filósofo

17 Em verdade, a falha em implementar plenamente o princípio de Mach está associada a uma argumentação robusta pelo primeiro sentido de absoluto acima, apresentado desde os trabalhos de Friedman (1983). Como já fora dito, neste texto, esse sentido de 'absoluto' caracteriza o substantivismo melhor do que qualquer outro. Isto permite, como o fazemos aqui, relacionar o debate contemporâneo (substantivismo) e o debate clássico (absolutismo newtoniano).

18 Alguns poderiam chamar a estes recursos de 'metafísicos', embora caracterizá-los assim possa ser problemático. A alcunha 'metafísico' diz respeito a todo conceito teórico que, apesar de ocupar um papel importante em uma teoria (por exemplo, um papel explicativo), diz respeito a elementos não redutíveis a nenhuma parte da experiência sensível. Como exemplo para este uso do conceito 'metafísico', Ernest Mach, no prefácio da segunda edição da ciência da mecânica, enuncia os conceitos newtonianos de espaço e tempo como *metaphysische Ungeheuerlichkeit* – monstrosidades metafísicas.

19 Uma teoria como a relatividade geral teria dificuldades em se acomodar a rigorosas concepções anti-metafísicas e permanecer, ainda assim, explicativa e preditiva. Podemos ver nisso, talvez, a capacidade de adaptação que o cientista tem quando confrontado com evidências empíricas. Apesar de ter preferências filosóficas, Einstein não se deixava limitar por isso.

postular, acreditar e utilizar dos mesmos conceitos, no contexto de uma teoria filosófica? Dificilmente poder-se-ia fazer dessa ideia uma tese convincente.

Até agora apresentamos o substantivismo em linhas gerais, avaliamos os argumentos dinâmicos de Newton e tomamos alguns desenvolvimentos mais recentes (especialmente concernentes às teorias da relatividade) para motivar a tese da independência ontológica do espaço-tempo. Discutimos, dentre outras coisas, os impactos da dificuldade de implementar o princípio de Mach para as pretensões relacionistas (inclusivamente as pretensões do próprio Einstein), e enfatizamos o vínculo entre substantivismo e realismo científico nesta argumentação. Na próxima secção, discuto como relacionistas podem lidar com a estratégia argumentativa acima, na qual se mobilizam conceitos, argumentos e consequências de teorias científicas para convencer o leitor da pertinência da manutenção de conceitos absolutos na ontologia científica. Importa-nos, naturalmente, responder às tentativas de manutenção dos conceitos absolutos de espaço e tempo, mesmo no contexto pós-relatividade geral.

2 Respostas aos argumentos substantivistas

Ambas as experiências de pensamento são criticadas por muitos autores, especialmente Leibniz, Berkeley, Hume, Mach e toda a tradição empirista.²⁰ Nesta secção, por razões de economia, escolhi tratar especialmente das críticas do empirista austríaco, relevantes também para o contexto da criação da teoria da relatividade, uma

²⁰ Uma solução algo exótica, atribuída a Leibniz e retomada por Sklar, em 1974, é de facto consistente com a possibilidade de um 'movimento absoluto sem espaço absoluto'. Expressões como ' Φ acelera' não exigem nenhum complemento para responder à questão ' Φ acelera relativamente a quê?' Se há movimento real e absoluto, como o pensava Newton, e se é deste movimento que estamos a falar, então não seria de se espantar caso não houvesse, para a sua descrição, nenhuma necessidade de se estabelecer uma interação de qualquer tipo, mesmo com o espaço (Sklar 1974: 229-230). A este propósito, Leibniz reconheceu que havia uma diferença entre o movimento absoluto de um corpo e o seu movimento meramente relativo (Leibniz 1983: 204). Contudo, mesmo admitindo-o, rejeita Leibniz o espaço-absoluto newtoniano, adotando uma perspectiva relacionista mista, i.e., com algumas concessões ao newtonianismo, nas cartas.

vez que o autor de 'a ciência da mecânica' foi sempre uma referência importante.

Para Mach, todo movimento deve corresponder a uma interação entre partes materiais do universo, o que sugeria a revisão de aspectos da física newtoniana. O empirista austríaco foi, talvez, o relacionista mais influente no âmbito da ciência moderna, em verdade o primeiro a tentar erigir uma física puramente relacional.²¹ Mach propunha, para o efeito, a substituição das definições assentes nos *principia*.²² O mais relevante diz respeito à maneira como este autor entende o conceito de inércia, implicado por Newton na primeira lei do movimento.²³ Ao contrário de Mach, o iluminista inglês entendia a inércia como uma propriedade ou disposição presente nos corpos. Trata-se do conceito newtoniano de *vis insita*, ou força de inatividade da matéria (Newton 1990). Como se pode ver, para eliminar as 'monstruosidades metafísicas' (cf. Mach 1912; 1960: 336-7), seria preciso erigir uma nova mecânica, substituindo definições a exemplo de 'massa', 'inércia', etc.²⁴ Os conceitos deveriam ter já na definição a condição relacionista que lhes é própria.

21 Os princípios para uma física puramente relacional encontram-se no seu clássico de 1883, *A ciência da Mecânica*.

22 Trata-se do grande livro basilar da física e ciência modernas, o *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Apesar do entusiasmo do autor pelo *hypotheses non fingo* (hipóteses não as formulo), princípio que Newton refere na segunda edição dessa obra, de 1713, o facto é que os *principia* são um livro metafísico e teológico em muitos aspectos.

23 A primeira lei do movimento enuncia o seguinte: 'Todo corpo continua em estado de repouso ou movimento uniforme em linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele'. Para Newton, o comportamento de um corpo inercial – ou seja, um corpo para o qual as leis do movimento se apliquem – tem a sua razão de ser nas propriedades inerciais autônomas deste corpo. Os relacionistas irão disputar essa tese newtoniana.

24 A expressão 'monstruosidade metafísica' tem certamente força retórica, mas sua virtude compreende principalmente aspectos críticos, vinculados ao empirismo. Algo é 'monstruoso', nesse sentido, quando é ontologicamente híbrido, uma vez que: a) não é um objeto físico observável; b) não é um mero conceito lógico; c) ocupa um lugar intermediário indevidamente ontologizado (com suposto poder causal sobre coisas observáveis).

Ao argumento do balde giratório de Newton, o autor responde que ninguém poderia provar que, caso fosse o céu de 'estrelas fixas' a girar, não obteríamos os mesmos efeitos inerciais que Newton atribui ao espaço. À experiência das esferas ligadas por uma corda, o resultado consequente com o machianismo é apenas este: não haveria nenhum efeito inercial possível. Trata-se, aliás, de um dos aspectos mais polêmicos do relacionismo: certas atribuições pensadas como propriedades genuínas dos corpos, como inércia, massa, etc., ganham contornos puramente relacionais. Qual seria afinal o comportamento inercial de um 'corpo de prova' infinitamente afastado do 'céu de estrelas fixas?' O relacionismo não parece compatível com nenhuma propriedade dessas. Contudo, há ainda algo de 'agnóstico' na maneira como um empirista poderia resolver esse dilema: de um cenário puramente ficcional, como aquele das esferas isoladas, não podemos tirar quaisquer conclusões válidas. Ninguém poderia afinal saber se haveria algum efeito inercial na corda, nessas circunstâncias. Tal resposta é plenamente compatível com o empirismo do autor, uma vez que essa experiência de pensamento ultrapassa os limites da experiência possível (cf. Hoefer al. 2021). Importa notar que, do ponto de vista machiano, a experiência das esferas absolutamente isoladas não é apenas epistemicamente inacessível, mas conceitualmente mal formada. A própria noção de um corpo inteiramente dissociado de toda a matéria restante pressupõe a abstração das relações dinâmicas que, segundo o relacionismo, constituem as propriedades inerciais. O cenário elimina precisamente as condições de aplicação do conceito que pretende testar. Assim, a recusa em atribuir um comportamento inercial determinado não é um expediente *ad hoc*, mas uma consequência direta do critério empirista de significado defendido por Mach.

O substantivista tenderá sempre a dizer que, enquanto o princípio de Mach não for completamente implementado nas nossas melhores teorias do espaço-tempo, o machianismo não poderá ser considerado bem sucedido. Todavia, convém distinguir entre duas formulações do chamado princípio de Mach, a segunda das quais preserva o valor heurístico da perspectiva machiana. Numa versão ontologicamente forte, sustenta-se que as propriedades inerciais de um corpo são integralmente determinadas pela distribuição global de matéria no universo. Numa versão metodológica mais fraca, por outro lado, o

princípio funciona como diretriz reguladora: estruturas absolutas devem ser evitadas sempre que possível, e explicações relacionais devem ser privilegiadas. A relatividade geral não satisfaz inequivocamente a formulação forte – uma vez que admite soluções no vácuo nas quais estruturas inerciais subsistem independentemente da matéria –, mas pode ser compreendida como profundamente motivada pela segunda. Distinguir esses dois níveis permite compreender como o machianismo pode ser, simultaneamente, filosoficamente influente e fisicamente não realizado.

Podemos ainda pôr em causa, no espírito do relacionismo de Mach, Leibniz e outros: por que razão esse princípio deve estar contemplado nas nossas melhores teorias? Parece-me que o princípio de Mach, pelo menos *qua* princípio, pode ser entendido apenas como um guia sobre como proceder na investigação. Aliás, é pensando assim que se torna fácil compreender como do pressuposto desse princípio Einstein obteve tantos sucessos. O físico alemão desenvolveu as suas teorias a pensar no carácter puramente relacional do movimento, da inércia e, ainda, do espaço. Nesse interim, o princípio de Mach foi-lhe um guia valioso para desafiar o 'saber' até então constituído. Que se tenha mostrado ser a teoria compatível com quantidades absolutas pode apenas significar que o princípio de Mach é inadequado enquanto parte da teoria, i.e., este princípio não deverá ser parte do conteúdo de nenhuma teoria científica. Mas isso não significa que este princípio não poderá atuar enquanto 'ideia reguladora da razão', tomando de empréstimo uma expressão da filosofia Kantiana.²⁵ Nesse sentido, assim como as ideias reguladoras da razão, na filosofia de Immanuel Kant, o princípio de Mach não determina diretamente o conteúdo empírico das teorias, mas orienta a investigação na direção de uma maior unidade explicativa e economia ontológica. A eventual inadequação do princípio enquanto tese metafísica não compromete sua função enquanto princípio orientador para a pesquisa científica. O princípio de Mach, como todos os princípios do género, é apenas um ponto de partida. É um fundamento filosófico a orientar

25 Na filosofia Kantiana, há ideias que dizem respeito a coisas acerca das quais não podemos obter conhecimento, como, por exemplo, a ideia de 'Deus'. Algumas dessas ideias atuam como 'reguladoras da razão', na medida em que a razão prática pode recorrer a elas, revelando-se importantes.

o trabalho para uma determinada direcção. A teoria assente nesse princípio poderá ser verdadeira, mesmo que o princípio de que tratamos seja falso.²⁶

A questão decisiva para o debate contemporâneo é, contudo, a seguinte: o fracasso da implementação forte do princípio de Mach implica que a relatividade geral reintroduz alguma forma de substantivismo? A resposta exige algumas nuances e considerações de carácter geral. Se a resposta positiva implica adotar irrestritamente a tese newtoniana em todos os sentidos acima enunciados – a independência ontológica, a fixidade e a invariabilidade local, nos termos acima definidos –, então as teorias da relatividade não têm este compromisso ontológico. Não há, na teoria de Einstein, um espaço absoluto subsistente independentemente da estrutura métrica dinâmica do espaço-tempo (Mas será essa a tese substantivista dos autores?). Todavia, se substantivismo designa a tese segundo a qual a estrutura espaço-temporal – representada pelo campo métrico – possui estatuto ontológico próprio, não redutível às relações entre corpos materiais, então a relatividade geral parece compatível com uma forma de substantivismo estrutural, capaz de preservar independência ontológica sem, com isso, significar ausência de interação fundamental entre espaço-tempo e matéria, *vide* geometria do espaço-tempo local, etc. A existência de soluções no vácuo (de Sitter 1917) indica apenas que a estrutura métrica pode subsistir mesmo na ausência de matéria, o que enfraquece a leitura relacionista forte, tornando a relatividade compatível com o substantivismo (alguns autores se apoiam mais no aparato conceptual da relatividade do que nos argumentos dinâmicos de Newton, etc.).

Importa distinguir, mais uma vez, substantivismo de absolutismo. O absolutismo newtoniano envolve a existência de estruturas invariantes e independentes da dinâmica física. A relatividade geral rejeita tal absolutismo, pois a geometria do espaço-tempo é dinâmica e sensível à distribuição de energia momento. O eventual compromisso ontológico

²⁶ É verdade que o próprio Albert Einstein reconheceu, posteriormente, que a relatividade geral não realiza plenamente o princípio de Mach. Isso sugere que o princípio operou menos como uma tese constitutiva do conteúdo da teoria e mais como orientação heurística decisiva na sua formulação inicial. O eventual afastamento entre teoria madura e inspiração metodológica não invalida a fecundidade desta última.

da teoria não é com entidades absolutas no sentido clássico, mas com uma estrutura geométrica dinamicamente determinada.

Por essa razão, as respostas relacionistas que exploramos não atendem a todos os níveis de exigência, o que não significa que não haja relacionistas dentre os que adotam as teorias da relatividade. Como Lawrence Sklar esclarece:

Encontramos frequentemente na bibliografia sobre o tema afirmações muito ousadas segundo as quais a física contemporânea resolveu conclusiva e decisivamente debates filosóficos muito antigos. 'A mecânica quântica refuta a tese de que todos os acontecimentos têm uma causa' é um exemplo frequente. Por vezes, surpreendentemente, ambos os lados de um debate filosófico afirmam que uma teoria resolve um problema a seu favor. Assim, tem-se defendido que a teoria da relatividade geral resolve decisivamente o problema da natureza do espaço; mas há quem defenda que ela refuta o substantivismo, enquanto outros sustentam que ela resolve o debate a favor dessa doutrina! Estas afirmações ousadas e injustificadas são enganadoras, pois os problemas são complexos e os argumentos são por vezes frustrantes na sua subtilidade e opacidade. Nestas circunstâncias, as pretensões a uma vitória decisiva de qualquer tipo devem ser encaradas pelo menos com algum cepticismo (Sklar 2021: 11).²⁷

3 Relacionismo

O relacionismo é a doutrina segundo a qual o espaço e o tempo (ou, contemporaneamente, o espaço-tempo) têm o seu estatuto ontológico dependente das substâncias, como árvores, estrelas, planetas, etc.²⁸ O movimento, como vimos, também não pode ser entendido no seu carácter newtoniano, uma vez que seria inteiramente relativo, de acordo com essa teoria. Aliás, o carácter meramente relacional do movimento é uma motivação para a doutrina do relacionismo, e há, tanto para substantivistas quanto para relacionistas, uma forte conexão entre o estatuto do movimento e o estatuto ontológico do espaço e do tempo.

O relacionismo também é uma doutrina com prerrogativas diversas, a depender do que defendem os autores. Gardner, por exemplo, defende que a posição de Leibniz é menos rígida que versões relacionistas contemporâneas (Gardner 1977: 220), especialmente

²⁷ Tradução de Pedro Galvão, Paula Mateus e Desidério Murcho.

²⁸ Relacionistas importantes são, por exemplo, Leibniz, Hume, Mach, Berkeley, Reichenbach, Grünbaum e muitos outros.

as de Reichenbach (1928) ou Grünbaum (1963). Para os dois últimos, não seria possível admitir propriedades intrínsecas (métricas, por exemplo), as quais, segundo Gardner, Leibniz admitia.²⁹ Norton, um dos autores mais importantes no resgate a argumentos de cariz leibniziano, recorre a uma analogia iluminadora entre a 'espaço-temporalidade' e a 'parentalidade'. Só há graus de parentesco mediante relações que se estabelecem entre pessoas. Do mesmo modo, apenas há espacialidade mediante relações entre objetos, e a temporalidade se dá mediante relações entre processos (Norton 2015). Friedman também diferencia claramente entre tipos de relacionismo, o leibniziano e o reichenbachiano. O primeiro diz respeito a certa sorte de limites para a ontologia do espaço-tempo; já o segundo (juntamente com Grünbaum) exhibe restrições quando do uso de certos conceitos, i.e., o espaço e o tempo não seriam admitidos no discurso filosófico como entidades reais, mesmo quando referidos explicitamente por alguma teoria (Friedman, 1983: 217). Logo, quando houver alguma referência explícita ou implícita ao espaço e ao tempo, necessário se fará tratá-la como meramente instrumental, talvez como uma ficção útil; ou como conceitos redutíveis a uma interação entre objetos.

Dissemos acima que o relacionismo tem alguma proximidade com doutrinas anti-realistas e anti-metafísicas. Isso nos leva a um dos aspectos mais importantes para compreender o relacionismo. Trata-se de uma doutrina que obedece a critérios de racionalidade, economia, beleza e concisão, virtudes desejáveis para o saber científico e filosófico em geral. Dentre as doutrinas motivadoras desse modo de pensar, sobressai-se o empirismo, doutrina de grande prevalência entre relacionistas.³⁰ Não por acaso, Hume, Berkeley, Mach e muitos dos membros do posterior Círculo de Viena tinham uma opinião negativa sobre a ontologia newtoniana.

Para entender a motivação relacionista, especialmente naqueles que propõe uma 'redução conceptual' para o vocabulário científico, devemos primeiro tentar caracterizar o empirismo. Isto por si só já é

29 Pode-se ver, nas cartas com Samuel Clarke, este aspecto do relacionismo leibniziano: 'Contudo, concedo que há diferença entre um verdadeiro movimento absoluto de um corpo, e uma simples mudança relativa da situação relativamente a um outro corpo' (1983: 204).

30 Naturalmente, Leibniz, o relacionista mais famoso, é uma exceção a essa afirmação.

uma tarefa difícil, uma vez que o empirismo é um corpo de doutrinas que varia em força, grau e proposta. Grünbaum e Reichenbach, por exemplo, propunham a revisão dos conceitos de espaço e tempo no contexto das nossas melhores teorias científicas, mas é menos óbvio que tenham de recusar essas entidades por completo. Uma atitude agnóstica me parece compatível, *prima facie*, com o seu relacionismo. Já Leibniz, talvez o grande nome do relacionismo, não pode ser considerado propriamente um empirista. Ainda assim, o raciocínio com o qual recusa o espaço e o tempo absolutos tem muito de semelhante com aquele professado por autores empiristas, como Mach, Berkeley, Hume, Reichenbach, etc.

Aceite-se, para fins de argumentação, que há uma proposta mais ou menos compartilhada para uma teoria do espaço e do tempo, cuja finalidade é satisfazer uma demanda herdada de críticas empiristas a concepções metafísicas em geral. Embora seja uma postura que tenha, em diferentes autores, diferentes tonalidades, é possível indicar uma base comum para o que desejam. A principal característica que une essa proposta subjaz no corpo desta doutrina, o empirismo, i.e., a exigência por um conteúdo representacional que atue sem compromissos com entidades transcendentais e metafísicas. Espaço e tempo são exemplos de entidades destas, segundo críticas de autores como Hume e Mach. As razões que tornam o empirismo atraente são, dentre outras, estéticas (simplicidade) e metodológicas (economia). Mas se quisermos subscrever um empirismo mínimo, como devemos caracterizá-lo? Eis uma proposta possível. Um empirista tem, pelo menos:

- Um compromisso forte com a experiência sensível;³¹
- Dedicção para a obtenção de confirmação, a qual deve ser universal;
- Um limite para aquilo que pode ser aceite como descrição da realidade, evitando assim a remissão a elementos metafísicos como, por exemplo, os poderes causais e secretos, já discutidos e recusados no notável exemplo de Hume.

31 No caso do empirismo do Círculo de Viena, o princípio acima assume a forma radical de um critério de significado que exclui inobserváveis como 'metafísicos', recusando enunciados que contenham elementos destes como parte positiva de qualquer doutrina significativa.

É claro que é muito complicado definir empirismo de maneira peremptória (cf. Bueno 1999: 22-23). A exemplo do que acontece com quem queira uma definição fechada de substantivismo (ou relacionismo), o confronto com filósofos e escolas pode ser frustrante. Mas isso não nos impede de sondar o interior de doutrinas anti-metafísicas e buscar a sua unidade e motivação. Muitas das críticas que o newtonianismo enfrentou, quando da apreciação dos *principia*, tinham uma forte relação com críticas empiristas a conceitos metafísicos em geral. Em alguns casos, como em Berkeley (1980) e Hume (2000), o peso do empirismo se faz sentir mais decisivamente.

3.1 Argumentos relacionistas

Os argumentos relacionistas que vou discutir devem-se, sobretudo, a Leibniz. Contudo, há uma versão contemporânea para esta argumentação que prescinde dos aspectos teológicos que permeiam o debate entre Leibniz e Samuel Clarke, travado até o final da vida do filósofo alemão. Este debate mostra, entre outras coisas, o poder de síntese e extemporaneidade do autor da 'Monadologia'. O 'argumento do buraco' – como a versão contemporânea do argumento de Leibniz é chamada – tem inegável fundamento leibniziano. Contudo, o contexto e o aparato desta argumentação devem-se às teorias do espaço-tempo local, em especial no contexto da relatividade geral.

3.1.1 O princípio da razão suficiente e o espaço absoluto

O primeiro argumento a ser exposto opõe espaço e tempo absolutos ao *princípio de razão suficiente*, de Leibniz. O princípio enuncia, poder-se-ia dizer, numa versão simples, que nada existe sem que haja para tal uma razão suficiente. O mesmo encontra-se na terceira carta, endereçada a refutar as alegações da segunda réplica de Clarke a Leibniz. Como se sabe, Leibniz dava grande importância à ideia de que nada existe sem uma razão suficiente. Trata-se de um princípio, pensava Leibniz, basilar para toda a metafísica, muita vezes aceito, embora nem sempre compreendido.³² Em verdade, nas cartas, há ocasiões

³² Afirma Leibniz que o princípio de razão suficiente muda o estatuto da filosofia; é por meio dele que a metafísica se torna fecunda e demonstrativa (Leibniz 1983: 196).

em que Leibniz queixa-se de que muitos filósofos, aparentes adeptos desse princípio, não estão atentos às suas implicações para a metafísica (Leibniz 1983: quinta carta, secções 3 e 4), ou ainda, acusa diretamente Clarke de conceder o princípio sem aceitar as suas implicações, mostrando não compreendê-lo de todo (Leibniz 1983: terceira carta, parágrafo 2). Eis como o argumento aparece, na passagem a seguir:

Para refutar a imaginação dos que julgam o espaço e o tempo uma substância, ou ao menos algum ser absoluto, tenho várias demonstrações, mas não quero me servir aqui senão daquela de que me fornecem ocasião. Digo, portanto, que, se o espaço fosse um ser absoluto, sucederia alguma coisa de que seria impossível possuir uma razão suficiente, o que é ainda nosso axioma. Eis como o provo. O espaço é algo absolutamente uniforme; e, sem as coisas postas nele, um ponto no espaço não difere absolutamente nada de um outro ponto. Ora, disso se segue (suposto que o espaço seja alguma coisa em si mesmo fora da ordem dos corpos entre si) ser impossível que haja uma razão para que Deus, conservando as mesmas situações dos corpos entre si, os tenha colocado assim e não de outro modo, e porque tudo não se fez ao contrário (por exemplo), trocando-se o Oriente pelo Ocidente (Leibniz 1983: 177).

O argumento prossegue igualmente para o tópico 'tempo', em que supondo a mesma uniformidade dos pontos temporais (ou da substância temporal), não se conseguirá encontrar uma razão suficiente para explicar o porquê Deus teria optado por criar o mundo no instante em que o fez, e não, por exemplo, nos cinco minutos anteriores. O argumento tem, tanto num caso como no outro, uma componente teológica explícita. Leibniz se vale, na sua argumentação, de uma concepção de Deus que, contemplando a máxima perfeição possível, nada pode criar ou fazer sem uma razão suficiente, com a qual delibera de maneira estritamente racional.³³ Isso estaria subentendido no conceito da perfeição divina, dando lugar ao sistema de mundo leibniziano — o melhor dos mundos possíveis, atualizado por um Deus perfeitamente racional. Está ainda implícito, nesse argumento, outra tese leibniziana apresentada como princípio: a de que os idênticos são o mesmo, qualitativa e numericamente — o

³³ Leibniz argumenta, contra Clarke, que essa opinião não é inconsistente com a liberdade ou onipotência divinas. Afirma o grande metafísico que não agir de modo irracional é antes uma expressão da máxima liberdade, e que tampouco isso contaria como uma falta de poder para agir (Leibniz 1983: 178-194). Alega-se, contudo, que o otimismo de Leibniz tem um carácter 'fatalista', pois Deus precisa ou necessita escolher sempre o mais perfeito, sendo impossível que escolha o contrário, ou que realize uma escolha destituída de razão.

assim chamado 'princípio da identidade dos indiscerníveis'.³⁴ Quando comenta a homogeneidade do espaço, Leibniz a enuncia como algo que supõe essa identidade. Se o espaço independente dos corpos existisse, esse princípio da sua filosofia se encontraria em dificuldades, uma vez que não haveria apenas um, mas infinitos pontos no espaço (supondo a infinidade destes pontos, a qual é pelo menos potencial) idênticos e homogêneos entre si, embora numericamente diferentes.³⁵ Por que razão criaria Deus entidades dessas, que não podem ser discriminadas entre si? O mundo criado por Deus teria muitas arbitrariedades e redundâncias, o que seria contrário ao 'Artífice Perfeito' pensado pelo autor da teodicéia.³⁶

O ponto da argumentação leibniziana é, aqui, fecundo, como nos mostra a relação entre Leibniz e o tema da próxima secção. Tornar os pontos no espaço e no tempo como substâncias resulta em um tipo de inflação ontológica compatível com o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local. O indeterminismo (ou pelo menos uma ameaça indeterminista) estaria vinculada a essa inflação, a qual diz respeito à construção de cenários teóricos que representam mundos possíveis que não diferem qualitativamente – diferem apenas relativamente ao ponto no espaço e no tempo ocupado por todos os objetos, mantendo

34 Em termos lógico-formais, o princípio da identidade dos indiscerníveis pode ser expresso como: $\forall x \forall y \forall \phi ((\phi x \leftrightarrow \phi y) \rightarrow x = y)$; este princípio deve ser distinguido do princípio da indiscernibilidade dos idênticos, que é o inverso lógico e pode ser expresso como: $\forall x \forall y \forall \phi (x = y \rightarrow (\phi x \leftrightarrow \phi y))$.

35 É errônea a ideia de que Leibniz não concebe a possibilidade de duas coisas qualitativamente idênticas e numericamente diferentes. Essa leitura do princípio é rejeitada por Leibniz na resposta aos contra-exemplos de Clarke, i.e., a composição simples dos corpos materiais, como átomos iguais e indiscerníveis (Clarke 1983: 193). Leibniz mostra, para defender este princípio, sua conhecida faceta anti-atomista. Contudo, responde o filósofo, na sua quinta carta: é possível que haja duas coisas iguais; entretanto, tal coisa não existe, uma vez que, se existisse, Deus e a natureza agiriam sem razão (Leibniz 1983: 196). Diz ainda o autor, no final da mesma carta: 'Quando nego que haja duas gotas de água inteiramente semelhantes ou dois outros corpos indiscerníveis, não digo que seja absolutamente impossível afirmá-los, mas que é uma coisa contrária à sabedoria divina e que por conseguinte não existe' (1983: 197).

36 A expressão 'Artífice Perfeito' encontra outras similares neste contexto, como, por exemplo, 'Geômetra Perfeito', etc.

entre si tudo o mais, a exemplo de propriedades e relações.³⁷

Podemos apresentar, então, o argumento de Leibniz na seguinte versão:

- a) Se os pontos no espaço e no tempo são absolutos (ou substâncias), então são homogêneos, i.e., idênticos sob quaisquer aspectos.
- b) Se os pontos no espaço e no tempo são homogêneos, então não há uma razão suficiente pela qual Deus poderia determinar o instante e o lugar da criação;
- c) Logo, se o espaço e o tempo são absolutos (ou substâncias), então existe algo sem razão suficiente, i.e., o instante e o local da criação.

Portanto, a substancialidade do espaço e do tempo é uma ficção que viola princípios fundamentais, em especial, o princípio de que tudo tem uma razão suficiente para existir. Ocorre que essa razão só existe na medida em que pode ser discernida pelo intelecto mais sábio e infalível, o intelecto de Deus. Mas podemos facilmente ver que, fora dos corpos e como absolutos e homogêneos, os pontos no espaço e no tempo não dão lugar a nenhuma dessas distinções, e tampouco pode Deus discernir sabiamente o momento e o lugar para a criação do mundo. O Deus advogado por Leibniz, ou a natureza ela própria, nunca são arbitrários deste modo.

37 Para o entendimento dessa questão, especificamente no contexto do debate clássico entre Leibniz e Clarke, ver em Dasgupta a construção de argumentos leibnizianos (Dasgupta 2015). Segundo Dasgupta, Leibniz teria percebido que o substantivismo implica uma 'proliferação de possibilidades' (Dasgupta 2015: 606). O autor sugere cenários *Shifted* (mundos em que todos os objetos mudam alguns metros sua posição espacial, embora todo o resto se mantenha) e *Boosted* (mundos em que o universo como um todo se move a uma velocidade constante, em linha reta, preservando todas as relações). Curiosamente, cenários *Boosted* parecem inspirados em uma argumentação de Clarke (terceira réplica, parágrafo 4). Em verdade, o erro em não se tomar espaço e tempo como 'quantidades' seria não ter, em cenários *Boosted*, nenhum efeito inercial, caso Deus interrompesse o movimento de todo o universo, repentinamente, uma vez que efeitos inerciais exigem, para o relacionista, alguma diferença relacional, inexistente nos cenários *Boosted* concebidos na experiência de pensamento.

3.2.1 O 'argumento do buraco'

O 'argumento do buraco' não deixa de ser uma versão do argumento acima, agora aplicada ao contexto das 'teorias do espaço-tempo local'.³⁸ Uma teoria do espaço-tempo local corresponde a uma classe de modelos da forma $\langle M, O_1, O_2, O_3, O_n \rangle$, onde M é uma variedade diferencial e os O 's são objetos geométricos em M . Todos os modelos que satisfazem as equações de campo da relatividade geral estão unidos por um difeomorfismo, i.e., são isomorfos entre variedades possíveis. Tecnicamente, a noção de difeomorfismo pode ser definida como uma aplicação bijetiva e diferenciável entre variedades diferenciáveis cuja inversa é também diferenciável. Tal noção é central para a invariância das equações de campo sob transformações suaves do espaço-tempo (cf. Wald 1984, cap. 2). As teorias mapeiam o espaço-tempo localmente, segundo um sistema de coordenadas arbitrariamente escolhido. Mas isso significa que mudar esse sistema obriga à criação de um novo 'mapa', o qual será também um novo modelo, unido ao primeiro por uma relação de difeomorfismo.

O leitor poderá perguntar-se por que razão este argumento é chamado de 'argumento do buraco'. O nome remete a uma região do espaço-tempo – um 'buraco' – na qual não há matéria, mas onde diferentes distribuições do campo métrico são compatíveis com as mesmas condições externas. Em termos gerais, o argumento afirma que, se o espaço-tempo for tomado como uma entidade substantiva, então a distribuição da matéria e do campo métrico, exteriores ao buraco, não determina univocamente a distribuição no seu interior. Isso ocorre porque uma transformação difeomórfica – que coincide com a identidade fora do 'buraco' – gera uma solução matematicamente distinta das equações de campo dentro dessa região. Assim, mundos possíveis que concordam completamente fora do buraco podem divergir quanto ao que ocorre no seu interior, o que depende

³⁸ Uma teoria do espaço-tempo local procura identificar as propriedades geométricas do espaço tempo a nível local, segundo as equações de campo da relatividade geral. Como sabemos, essas equações são covariantes e permitem a exemplificação de uma diversidade de modelos. Os físicos partem da especificação das propriedades do espaço-tempo local para a especificação do espaço-tempo como um todo, nos modelos cosmológicos. Em geral, vale a regra de que, na especificação das mesmas, uma maior generalidade resulta em uma menor precisão.

da multiplicação das possibilidades acusada por Leibniz acerca do espaço absoluto newtoniano (cf. Dasgupta 2015), resultando numa forma de indeterminismo frequentemente considerada indesejada.³⁹

As componentes teológicas do primeiro argumento são substituídas por elementos técnicos da relatividade geral (Einstein 2016), especialmente com o desenvolvimento das teorias do espaço-tempo local. O determinismo assume o lugar do princípio de razão suficiente: sem o determinismo exemplificado nas teorias, falhamos em fazer das nossas previsões algo fundamentado, ou seja, falhamos em justificar escolhas segundo razões (Earman e Norton 1987: 515).

Eis uma forma de apresentar o argumento:

- 1) O substantivismo implica o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local.
- 2) O determinismo, sendo uma doutrina importante para a ciência, não pode ser abandonado senão por razões empíricas.
- 3) O substantivismo é uma doutrina metafísica.
- 4) O determinismo não pode ser abandonado para a adoção do substantivismo.

Acima apresentamos o que poderia ser o 'esqueleto' ou a forma deste argumento, em uma versão simples. Essa versão é mais concordante com o espírito atual das exigências leibnizianas (sem recursos a categorias teológicas). O objetivo é comparar modelos unidos por difeomorfismo em um mesmo espaço-tempo, e então postular a equivalência de Leibniz, a qual supostamente falha para o espaço-tempo substantivo, pensado como uma entidade separada e independente. Dois modelos unidos por difeomorfismo são leibnizianamente equivalentes se, e somente se, representam um mesmo mundo fisicamente possível. Aqui, o objetivo é oferecer ao substantivista um teste definitivo. Inspirado em Leibniz, o teste sugere a transformação coordenativa entre objetos geométricos (tal como a troca do Oriente pelo Ocidente, na primeira versão, advinda de Leibniz), para então indagar: será que dois modelos unidos por difeomorfismo representam

³⁹ Agradeço a David Yates a importante observação sobre o nome deste argumento, sem o qual esta secção estaria incompleta. Agradeço-o igualmente pelos muitos comentários preciosos acerca de versões preliminares deste artigo.

o mesmo mundo possível? Responder 'não' a essa questão traz consigo uma forma 'radical de indeterminismo'. Segundo Ray, o indeterminismo ocorre não por razões relativas à covariância, mas sim graças à admissão realista acerca da existência de pontos no espaço-tempo (Ray, 1993: 199).

Tomemos novamente a questão acerca da equivalência de Leibniz. Responder 'não' a essa questão era suposto ser a única forma de proceder consistente para quem aceita o substantivismo, pelo menos da perspectiva de quem deseja favorecer o relacionismo via *hole argument*.⁴⁰ Todavia, qualquer resposta que negue haver uma única situação física representada por modelos falha para a equivalência de Leibniz. Pela mesma razão, falha para o determinismo nas teorias do espaço-tempo local. Mas por que substantivistas têm de responder 'não' à questão acima? O seu realismo o obriga a dizer que, após uma transformação coordenativa, não temos a mesma situação física representada em modelos (mesmo mundo possível).⁴¹ Após uma transformação como essa teremos sempre, se o substantivismo for verdadeiro, diferentes modelos para o mesmo espaço-tempo local – os quais não terão os mesmos objetos a ocuparem os mesmos pontos espaço temporais. Dir-se-ia que, após uma transformação de coordenadas, obtém-se dois mundos possíveis, cada qual representado por um modelo.⁴² Note-se que o relacionista poderia dizer que se tudo o

40 Como veremos na próxima secção, a tese de que o substantivista terá de responder 'não' ao desafio de Leibniz, sob pena de inconsistência, pode ser desafiada. Os desafiantes, para o efeito, adotam diferentes tipos de substantivismo com prerrogativas diversas. Os essencialistas métricos rejeitam atribuir aos difeomorfismos de buraco (*hole diffeomorphisms*) a prerrogativa de serem representações de mundos possíveis. Os anti-haecceístas, por sua vez, argumentam que tais difeomorfismos representam o mesmo mundo apesar das disposições em contrário, como por exemplo por parte de substantivistas de contrapartes (Butterfield 1989a, 1989b).

41 Novamente, como veremos a seguir, o argumento não parece capturar todos os substantivistas no mesmo bojo, uma vez que depende da teoria que iremos defender sobre critérios de individuação para pontos no espaço-tempo. Estes critérios o anti-haecceísta poderá, por exemplo, rejeitar de maneira enfática. Estratégias de defesa com este perfil tendem a uma nova caracterização da doutrina, o que resulta em 'substantivismos' com prerrogativas diversas – como uma família de doutrinas.

42 Para o leitor que quiser se aprofundar nessa questão, recomendo, para além

que existe são relações, então os diferentes modelos representam a mesma situação física, uma vez que preservam todas as relações. A consequência direta do modo de pensar substantivista é a falha para a equivalência de Leibniz, a sua consequência indireta, o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local.

O argumento de Earman-Norton põe-nos dois dilemas relacionados:

Dilema da indistinguibilidade

- a) Aceitar que há distintos estados de relações que, apesar de diferentes numericamente, são indistinguíveis observacionalmente; ou
- b) Abandonar o substantivismo.

Dilema indeterminista

- a) Aceitar que há um indeterminismo radical nas teorias do espaço-tempo local; ou
- b) Abandonar o substantivismo.

O dilema indeterminista tem uma relação maior com o princípio de razão suficiente, enquanto o primeiro dilema tem relação com o princípio da identidade dos indiscerníveis.⁴³ O primeiro destes princípios afirma que nenhuma entidade existe sem que haja uma razão suficiente para a mesma; o segundo, por sua vez, afirma que os iguais são indiscerníveis por partilharem todas as propriedades. Como se sabe, o princípio da identidade dos indiscerníveis tem um histórico de controvérsias (cf. Black 1952). Assim, não me parece que o mesmo configura-se em uma razão invencível contra o substantivismo. Ainda que isso esteja correto, qualquer resposta ao argumento do buraco será mais bem sucedida quanto melhor puder evitar as consequências dos dilemas apresentados. Das respostas na literatura, vamos avaliar, nas secções a seguir, três: o essencialismo métrico de

dos originais de Earman e Norton (1987), o artigo introdutório de Norton (2015) e a excelente contribuição de Paul Teller (1991).

⁴³ Nas cartas, Leibniz expõe a Samuel Clarke como do princípio de razão suficiente se pode obter o princípio da identidade dos indiscerníveis (Leibniz 1983: 182).

Maudlin, o substantivismo de contrapartes de Butterfield e a recusa ao 'haecceitismo' no substantivismo sofisticado, de Pooley e outros.⁴⁴

4 Respostas aos argumentos relacionistas

Como Samuel Clarke responde ao primeiro argumento de Leibniz? O autor parece entender que a mera vontade justifica, em um ser livre e sob certas circunstâncias, escolhas não fundamentadas em critérios. Assim, nega que Deus não possa escolher o momento e o lugar da criação. Com efeito, entre coisas que são indistinguíveis, tudo o mais mantendo-se igual, a mera vontade ou inclinação psicológica configura-se em razão para agir. O debate passa então a ser sobre se é conforme à dignidade do Artífice Perfeito atuar sem um critério objetivo para discriminar o melhor curso de ação, o que Leibniz negava. A defesa de Clarke, por sua vez, apoiava-se no suposto fatalismo desta consideração, implícito na concepção de Leibniz.⁴⁵ Neste ponto do diálogo, Clarke não contenta-se apenas em proceder à defesa de Newton, mas inicia uma série de ataques interessantes à tese relacionista. Neste interim, o defensor de Newton extrai do relacionismo, assumindo o princípio da identidade dos indiscerníveis, um absurdo notório: quer Deus tenha criado o mundo antes ou depois, em qualquer lugar ou instante, teria criado o mundo sempre no mesmo instante e no mesmo lugar, desde que as relações entre partes fossem preservadas:

De resto, supondo-se que o espaço não é real, mas apenas a ordem e o arranjo dos corpos, seguir-se-ia um absurdo palpável. De facto, segundo essa ideia, se a terra, o sol e a lua tivessem sido colocados onde se acham presentemente as mais afastadas estrelas fixas (contanto que fossem colocados na mesma ordem e com a mesma distância um do outro), não somente teria sido a mesma coisa (como o diz muito bem o sábio autor), mas ainda seguir-se-ia que a terra, o sol e a lua estariam nesse caso no mesmo lugar em que estão atualmente, o que é uma contradição manifesta (Clarke 1983: 180).

44 Naturalmente, há outras soluções disponíveis na literatura. Menciona-se nesta nota algumas soluções que ficam de fora desta secção, por razão de economia textual: a) aceitar o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local; b) modificar de forma *ad hoc* a definição de determinismo (Belot 1995, Brighouse 1994, 2020, Butterfield 1989a e 1989b, Melia 1999, Pooley 2021); c) recusar a equivalência de Leibniz (Belot 2018).

45 Na opinião de Clarke, há um fatalismo implícito na defesa de Leibniz, contrário à liberdade e onipotência divinas (cf. quarta réplica de Clarke, 1983: 187).

A tese que não atribui ao espaço e ao tempo nenhuma substantividade resulta, no parecer de Clarke, numa espécie de indistinção (e até identidade) entre contrários: o mundo criado na exata posição (a posição da Terra, do sol e a lua) em que foi, versus o mundo criado em uma posição muito diferente (Terra, sol e lua no lugar onde as mais afastadas das estrelas fixas se encontram). A questão é que não só o relacionista não o distingue bem, como, sem critério algum que pudesse ser usado – nem mesmo por Deus –, o relacionismo torna as duas circunstâncias a mesma.⁴⁶ Embora engenhoso, o argumento de Clarke não parece definitivo, uma vez que Leibniz rejeita por princípio a ideia de que Deus teria criado o mundo, ou tomado qualquer curso de ação, em qualquer das circunstâncias propostas. O Deus leibniziano atualizaria apenas e tão somente o melhor dos mundos possíveis. Portanto, de duas situações indistinguíveis, o Artífice Perfeito abster-se-ia de realizar o que quer que seja.

Como a intenção deste ensaio não é avaliar as doutrinas teológicas de ambos os autores, não irei aprofundar este aspecto do debate. Cumpre lembrar, entretanto, a importância deste tópico para o 'argumento do buraco'. É por essa importância que, em alguns círculos, o argumento do buraco é também chamado 'argumento neo-leibniziano', no qual se vê parte do legado que nos deixou o grande metafísico alemão.

4.1 Respostas ao 'argumento do buraco': o essencialismo métrico

A primeira resposta a comentar é o 'essencialismo métrico' de Maudlin (1988, 1990). Para esse autor, apesar da liberdade construtiva que tem o teórico na criação de modelos matemáticos, os pontos no espaço-tempo têm uma configuração que lhes é própria, sendo bem definidos na sua estrutura. Os pontos espaço-temporais possuem condições de individuação nas quais todas as relações contam essencialmente.

⁴⁶ Ora, o espaço e o tempo absolutos não apresentariam o mesmo problema caso fosse perfeitamente possível distinguir pontos no espaço e no tempo. Mesmo que as relações entre corpos permaneçam iguais, cada objeto a se relacionar com os demais estaria também a estabelecer uma relação com algum ponto específico do espaço e do tempo, e cada ponto apresentaria, portanto, diferenças para os demais. Essa ideia parece ter parentesco com a tese de autores posteriores, especialmente o essencialismo métrico (Maudlin 1988) e o substantivismo sofisticado (2021).

Maudlin pensa as relações métricas como dotadas de essencialidade. Isso significa que para individualizar pontos no espaço-tempo (este ponto exato por oposição a qualquer outro), todas as relações do género são importantes. O que aconteceria se ao desafio de Earman-Norton for imposta alguma condição de essencialidade? E se especificar um ponto no espaço-tempo for especificá-lo, necessariamente, com todas as relações atuais? Maudlin argumenta atribuindo ao essencialismo a autoridade de Newton, embora seja discutível que haja realmente algum essencialismo em qualquer autor clássico (Maudlin 1988: 86). Ele sustenta haver, pelo menos, indícios importantes, como quando o grande cientista apresenta o *scholium* sobre espaço e tempo, nos *principia*, ou ainda em *De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum* (1962: 166):

As partes do espaço derivam suas propriedades das suas posições, tal que se quaisquer duas partes pudessem mudar a sua posição, mudar-se-iam igualmente as propriedades que têm e, cada uma delas, converter-se-ia imediatamente na outra. As Partes da duração e do espaço são entendidas exatamente como o são em virtude da sua ordem mútua e posição relativas; nenhuma parte parece ter algum indício de individualidade que não esteja relacionado com a ordem e posição das mesmas, e de tal forma que, por consequência, nenhuma pode ser alterada (Newton, 1962: 136).⁴⁷

Nessas ocasiões, especialmente no *De Gravitatione*, Newton relata que as partes do espaço e do tempo têm as relações mútuas atuais como critérios de individualização, i.e., cada ponto está relacionado com todo o espaço e todo o tempo, e essas relações são invioláveis. Maudlin reconhece que o suposto essencialismo newtoniano precisaria de uma 'tradução' para a linguagem tetradimensional da relatividade geral, mas sustenta que a tradução possível não impõe assim tantas dificuldades (1988: 86).

O essencialismo de Maudlin resulta no seguinte: os modelos construídos por difeomorfismo não são representações de mundos fisicamente possíveis (Pooley 2021). A covariância implica aceitar muitas possibilidades diferentes para espaços-tempo locais, mas essas, por não contemplarem as relações essenciais para a identificação de cada ponto no espaço-tempo, não são formas acerca de como o nosso mundo poderia ter sido. O dilema resultante do 'argumento do buraco' está em tomar pontos matemáticos como se correspondessem

⁴⁷ Newton usa 'duração' para significar 'tempo'.

a pontos no espaço-tempo, sem o devido cuidado com o caráter essencial que as relações entre pontos e objetos geométricos têm. Ou pontos matemáticos não têm correspondência com pontos reais no espaço-tempo, ou precisam de contemplar o essencialismo. Como resposta ao 'argumento do buraco', a proposta de Maudlin consiste em enfraquecer, poder-se-ia dizer, o papel da covariância para a ontologia do espaço-tempo. Mas isso também pode ser considerado um aspecto discutível dessa abordagem. Afinal, é questionável que esse enfraquecimento mantenha tudo o que é preciso para assimilar o papel da covariância nas teorias do espaço-tempo local.

4.2 *O substantivismo sofisticado*

Outra resposta possível consiste em negar o 'haecceitismo' (Pooley 2006, Russell 2013, Dasgupta 2009 e 2011). Em verdade, a estratégia de Pooley e outros apresenta muitas semelhanças com as de Maudlin.⁴⁸ Essa estratégia identifica, no argumento de Earman-Norman, a premissa implícita de acordo com a qual os modelos unidos por difeomorfismo se diferenciam apenas nas propriedades 'não-haecceitistas' que têm, i.e., aquelas propriedades 'não-qualitativas' dos objetos, eventos, indivíduos, mundos possíveis, etc.⁴⁹ Exemplos de propriedades 'não-qualitativas' são, por exemplo, as propriedades de 'sobreviver o Maracanã', 'estar abaixo da linha do equador', 'ser o autor do teorema da incompletude', etc. As propriedades qualitativas são,

48 Muitas respostas ao *hole argument* têm, segundo Pooley, a componente em comum de serem acerca da recusa em ver diferenças meramente não qualitativas como resultando em representações de diferentes mundos possíveis (Pooley 2013). Isso inclui Maudlin (1989) e Butterfield (1989a), muito embora haja diferenças especialmente no que concerne a Maudlin. Para Pooley e outros, os modelos unidos por difeomorfismo são redundâncias matemáticas e, exatamente por isso, representam o mesmo mundo fisicamente possível. Para Maudlin, pelo contrário, 'difeomorfismos de buraco' (*hole diffeomorphisms*) não representam mundos possíveis de todo, pois violam a condição própria do essencialismo métrico.

49 'Haecceidade' é um conceito escolástico, atribuído aos seguidores de Duns Scotus, e denota a essência individual e discreta que todo existente teria. Deve-se à 'haecceidade' de um objeto a sua individuação. Uma ecceidade pode ser, também, um conjunto de características ou propriedades, desde que componham essa mesma essência individual.

ao contrário, individuantes para qualquer objeto. Por exemplo, a propriedade de 'ser Dom Sebastião', ou a propriedade de ser 'igual a Sócrates', ou ainda a propriedade de 'ser o filho de Felipe II da Macedônia', predicada unicamente de Alexandre o Grande, são qualitativas. Já as propriedades de 'ser o imperador da Macedônia', 'ser preceptorado por Aristóteles', predicadas do mesmo Alexandre, são 'não-qualitativas'. O 'haecceitismo' é uma tese modal sobre propriedades. De acordo com algumas versões dessa tese, o mundo poderia ser diferente nas propriedades 'não qualitativas' sem mudar qualitativamente (cf. Cowling 2015a, 2015b).⁵⁰

O substantivismo supostamente falha para a equivalência de Leibniz. A razão para isso está relacionada com uma multiplicação de possibilidades, em modelos a representarem diferentes mundos fisicamente possíveis, indefinidamente. Esses modelos, se têm pontos individuais no espaço-tempo, i.e., com condições de individuação *qua* haecceidades, representam diferentes situações físicas, tornando a teoria incapaz de discriminar entre os mesmos e tendo como resultado um indeterminismo radical. Se a teoria é indeterminista na captura de aspectos do espaço-tempo local, o seu indeterminismo teria também consequências ontológicas, i.e., o mundo seria indeterminista, não apenas a teoria, pelo menos para aqueles que aceitem uma forma robusta de realismo científico.

Mas o substantivista tem a possibilidade de negar que a sua doutrina introduz mudanças dessas.⁵¹ Pode ainda permanecer cético sobre a existência de haecceidades, ou negar que haja critérios de individuação para pontos no espaço-tempo – critérios *qua* haecceidade.

50 Pooley define o haecceitismo como a seguir: 'Da forma como uso o termo, haecceitismo é a posição de acordo com a qual existem pares de mundos possíveis, genuinamente distintos, que diferem apenas relativamente à permutação de alguns objetos existentes em ambos' (Pooley: 2006). O contato com o 'argumento do buraco' se faz quando consideramos a permutação entre objetos geométricos no contexto das teorias do espaço-tempo local. Nesse caso, introduzir diferenças haecceitistas para pontos no espaço-tempo faz os modelos diferirem mais do que era suposto, tendo o indeterminismo como resultado indesejado.

51 As mudanças 'não-qualitativas' relevantes dizem respeito à estrutura do espaço-tempo por uma reorganização dos objetos geométricos. Note-se que essa reorganização falha para a equivalência de Leibniz, de acordo com Earman-Norton, se, e somente se, há pontos no espaço-tempo *qua* substâncias.

Em qualquer desses casos, defende-se o substantivista da ideia de que sua doutrina o compromete com o indeterminismo por introduzir, nos modelos unidos por difeomorfismo, via alegação da existência de pontos no espaço-tempo – pontos dotados de 'identidade primitiva' – uma indefinição caracterizada por mudanças qualitativas entre modelos. O argumento do buraco dependeria, implicitamente, duma aplicação do haecceitismo como teoria modal sobre variedades de propriedades. O substantivismo violaria a condição de acordo com a qual os modelos unidos por difeomorfismo variam apenas não-qualitativamente

Oliver Pooley afirma que o substantivismo tem-se 'sofisticado' com as abordagens de Maudlin e outros. Essa sofisticação consiste em fornecer evidências de que podemos conservar a equivalência de Leibniz abandonando a crença na existência de diferenças haecceitistas, aplicadas aos pontos no espaço-tempo:

Podemos chamar qualquer posição substantivista que nega as diferenças de haecceidade, mantendo M_1 e M_2 como representações de um mesmo mundo possível, pelo nome de substantivismo sofisticado (Pooley 2006: 101).

A diferença principal é o anti-haecceitismo do substantivismo sofisticado. Ele significa abandonar a ideia de que o espaço-tempo substantivo tem condições de individuação independentes das relações entre partes, pontos e objetos geométricos. A ideia com a qual é preciso romper é esta: para ser uma entidade independente das relações entre partes, um ponto no espaço-tempo tem de ter uma haecceidade enquanto condição de individuação. Porém, como se pode facilmente notar, não há nenhuma implicação lógica tal que só existam espaço e tempo substantivos caso haja condições de individuação *qua* haecceidades.

Os pontos no espaço-tempo diferenciam-se, como supunha Leibniz, por relações entre objetos geométricos. Maudlin, dentre todos, inspira fortemente o anti-haecceitismo. Por isso é comum dizer, na esteira do que notou este autor, que o argumento do buraco sofre de um tipo de ilusão induzida pela matemática: tentar oferecer a modelos matemáticos o mesmo estatuto de possibilidade que têm os mundos fisicamente possíveis. Isto é, o argumento de Earman-Norton falha na leitura modal do significado da equivalência de Leibniz:

Parece que usar modelos matemáticos para representar mundos possíveis se tornou tão natural entre filósofos da física que, por isso, muitos têm sido levados

a aceitar as distinções haecceitistas quase inconscientemente. No entanto, as mesmas não passam, na realidade, de artefatos para o modelo (Pooley 2006: 103).

Sem atribuir haecceidade aos pontos no espaço-tempo, os substantivistas podem manter o determinismo, tanto para as teorias – determinismo epistêmico –, quanto para a realidade – determinismo ôntico. O que fazia parecer o contrário era a ideia equivocada de que alegar a existência de pontos no espaço-tempo (*qua* substâncias) resulta na introdução de diferenças não-qualitativas em modelos unidos por difeomorfismo. Tal ideia não está correta, felizmente, uma vez que o pressuposto haecceitista em que se baseia é falso.

4.3 *A doutrina das contrapartes de Butterfield*

Teitel concluiu (2019), após explorar e refinar o essencialismo de Maudlin, que a teoria falha em incorporar as noções modais envolvidas nas versões iniciais do argumento. Como se sabe, foi Einstein quem formulou, em 1913, aquilo que é conhecido como uma versão preliminar do argumento de Earman-Norton. Einstein tentava evitar que as equações covariantes da relatividade geral resultassem em uma forma de indeterminismo radical. Earman e Norton propuseram, em uma série de trabalhos sobre isso, que o indeterminismo nas teorias resultava antes da atribuição realista acerca da existência de pontos no espaço-tempo. O histórico dessa questão faz pensar: estava Einstein a conceber o espaço-tempo à maneira substantivista, quando preocupava-se com o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo? Mesmo muito antes da relatividade geral, quando o debate conservava muito do seu elemento teológico, a equivalência de Leibniz propunha uma leitura modal no seio dessa argumentação: se Ocidente e Oriente fossem comutados, teríamos representada a mesma situação física (ou o mesmo mundo possível), ou teríamos situações (mundos possíveis) diferentes? É então que surge Butterfield para incluir explicitamente o tratamento modal à questão. Contudo, Butterfield e Maudlin são semelhantes no tratamento que oferecem à covariância: ela permite-nos a construção de modelos matemáticos, mas o nosso mundo não se deixa confundir com essa infinidade de espaços-tempo possíveis.

O aparato usado por Butterfield é uma versão da teoria das contrapartes, de David Lewis (1986a, 1989b). Ainda assim, o autor não se compromete com o realismo modal modal lewisiano, uma vez que esse tipo de realismo é desnecessário para o propósito de salvar os substantivismo da acusação indeterminista (Butterfield 1989b: 11).⁵² Cada modelo de espaço-tempo local, após transformações coordenativas, equivale a um mundo possível. Os objetos geométricos são unidos por relações de contrapartes entre pontos no espaço-tempo, e apenas um deles pode ser a representação do mundo atual. O autor vê como uma vantagem das contrapartes a possibilidade de tratar modelos, após qualquer transformação coordenativa, sem recorrer a nenhuma 'identidade entre mundos'. Salva-se assim o substantivismo por dizer que há apenas um mundo fisicamente possível, muito embora haja uma diversidade de modelos possíveis nos quais há contrapartes para objetos geométricos e pontos espaço-temporais. Sabemos que, na doutrina das contrapartes de David Lewis, nenhuma condição determinista é violada, uma vez que obter uma situação contrafactual para qualquer objeto não muda nada relativamente ao que se poderia considerar nomologicamente necessário, no mundo atual – especialmente quando baseamos o determinismo na ideia que 'há uma única situação fisicamente possível para cada ponto no espaço-tempo', como a definição de Butterfield assevera (c.f. Butterfield 1989b: 10-11).

4.3.1 *A objeção das teorias brinquedo (Toy Theories) contra o substantivismo de contrapartes*

Há uma questão com repercussões significativas na literatura sobre o argumento do buraco (*hole argument*), especialmente relacionada ao chamado 'substantivismo de contrapartes' (*counterpart substantivism*): o caso das chamadas 'teorias brinquedo' (*toy theories*). As teorias brinquedo consistem em cenários ficcionais úteis no contexto desse debate, baseados na presença de diferenças não-qualitativas – e apenas diferenças não-qualitativas –, preservando, ao mesmo tempo, o determinismo nos modelos e nas teorias. Em geral, cenários desse tipo são

⁵² O realismo modal é a tese de que mundos possíveis são reais, existindo tal como o mundo atual.

construídos mediante a postulação de espaços homogêneos nos quais um objeto pode estar em qualquer lugar.

Como as 'teorias brinquedo' supostamente ilustram uma certa liberalidade na definição de determinismo, cenários desse tipo acabam por atuar como contraexemplos à tese de que o determinismo é consistente com modelos destes, sem qualquer tensão ou incompatibilidade. As teorias brinquedo, portanto – propostas em diversas versões por Melia (1999) e Belot (1995) –, consistem em tratar diferenças não-qualitativas, em modelos unidos por difeomorfismo, como representações de mundos fisicamente possíveis distintos, extraíndo desses casos intuições indeterministas. Nesta secção, apresentamos a versão de Melia e discutimos as possíveis consequências desta objeção, bem como a resposta de Franciszek Cudek (2024), hoje considerada bem sucedida por grande parte dos intervenientes neste debate.

A versão presente em Melia (1999) foi discutida num artigo recente por Cudek (2024). Cudek examina as razões que tornam difícil descartar o apelo indeterminista nos exemplos propostos por Melia. A versão de Belot (1995) recebe tratamento semelhante, uma vez que é, *mutatis mutandis*, análoga à de Melia. Há outras versões não abordadas pelo autor – como em Belot (2018: 949) –, e este é um procedimento que também adotarei aqui, por razões semelhantes. A seguir, apresento o exemplo discutido por Melia:

Há duas partículas brancas idênticas e duas partículas pretas idênticas. A partir de um instante inicial t_0 , há um instante fixo t_1 no qual as duas partículas pretas se deslocam, com velocidade constante, em linha reta, na direção das duas partículas brancas diferentes (Melia 1999: 61).

O cenário acima sugere indeterminismo, uma vez que é impossível determinar, por qualquer meio, qual das partículas preta atravessará alguma dentre as partículas brancas, em t_1 .⁵³ Portanto, o problema de Melia consiste em mostrar que definir o determinismo de modo a reconciliar cenários como este infringe intuições fundamentais.

A solução de Cudek envolve um exercício de formalização, no qual se torna claro que as teorias brinquedo não possuem o grau de liberalidade capaz, por si só, de resultar num contraexemplo ao

53 Em geral, em uma teoria sobre a qual uma *toy theorie* é construída, os dados iniciais fixam todas as propriedades qualitativas (geometria, campos etc.), mas não determinam em que lugar o objeto estará localizado.

determinismo – especialmente se forem concebidas com base na relatividade geral (RG). A diferença é que enquanto 'teorias brinquedo' deixam graus de liberalidade puramente haecceísticos, a RG utiliza métricas e campos que estabelecem relações qualitativas globais para descrever o universo.

A tese de Cudek restabelece assim soluções do tipo Butterfield (1989a, 1989b) como capazes de preservar, a um só tempo, determinismo e substantivismo, embora a versão adotada por Cudek seja diferente da de Butterfield, bem como há dentre esses autores formas diferentes de apresentar uma definição para 'determinismo'.⁵⁴

5 Perspectivas sobre o debate

É muito difícil prever a evolução de um debate tão antigo quanto sutil. Entretanto, podemos ter as nossas conjecturas bem informadas, sobretudo se acompanharmos de perto a maneira como algumas tendências vêm apresentando-se. O substantivismo sofisticado, por exemplo, é uma delas. Ele pode ser visto como uma concessão ao relacionismo, feita pelos seus rivais. Concede-se a Leibniz que os pontos no espaço-tempo não se diferem qualitativamente senão por suas relações com objetos geométricos, campos, etc.

Rovelli é um exemplo de autor que propõe alguma forma de ecletismo para abordar problemas clássicos. Para ele, o espaço e o tempo, ao tornarem-se espaço-tempo com a evolução das descobertas de Einstein, são entidades genuínas, embora pertencentes a uma intrincada rede de relações, das quais dependem, em um sentido específico que convém esclarecer:

Assim, o tempo torna-se parte de uma complicada geometria tecida juntamente com a geometria do espaço. É a síntese que Einstein encontra entre a ideia de tempo de Aristóteles e Newton. Num golpe de mestre, Einstein compreende que ambos, Aristóteles e Newton, estavam certos. Newton tinha razão ao intuir que existe outra coisa além das coisas simples que vemos movimentarem-se

⁵⁴ A definição de determinismo proposta por Cudek (Dm2-Worlds+) é altamente contextual (isto é, trata-se de uma definição que explicita sob que condições uma teoria como a relatividade geral pode ser determinista). A definição de Cudek é apresentada nos seguintes termos: (Dm2-Worlds+) = uma teoria T é determinista se, para quaisquer mundos possíveis W' e W' descritos por T, se houver acordo qualitativo entre eles relativamente a um certo instante, então haverá acordo qualitativo total entre eles (Cudek 2024).

e mudarem. O tempo verdadeiro e matemático de Newton existe, é uma entidade real: é o campo gravitacional, a folha elástica, o espaço-tempo curvo da figura. Mas errou ao assumir que esse tempo é independente das coisas e flui de forma regular, imperturbável, independente de tudo o mais (Rovelli 2017: 75).⁵⁵

Esse modo de proceder foi chamado 'atitude resolutória' por Ian Hinckfuss (Hinckfuss 1988: 183-192). O objetivo é encontrar uma nova concepção que emergisse a partir do debate entre substantivistas e relacionistas, mas sem os problemas que inviabilizam versões anteriores. Nas palavras de Earman:

Minha conclusão preliminar, a partir desta situação insatisfatória, é que quando a fumaça da batalha se abaixar emergirá uma nova concepção de espaço-tempo, a qual não é nem o relacionismo nem o substantivismo tradicionais. No presente, podemos ver apenas os contornos dessa terceira via. Mas espero ter identificado as alternativas necessárias para continuar a procura por uma definição melhor. Espero, ainda, que mesmo os leitores que não aceitam as qualidades que tenho apresentado, relativamente ao debate absolutismo versus relacionismo, possam concordar que o desenvolvimento do 'argumento do buraco' e as reações a essa questão servem para revelar detalhes preciosos e nem sempre apreciados das doutrinas do determinismo e do substantivismo, bem como para vincular de maneira mais profunda essas doutrinas com questões em filosofia da ciência e metafísica (Earman 1989: 208).

Essa forma de ecletismo diz respeito, enquanto elemento metodológico, à adoção de aspectos de cada doutrina – o substantivismo e o relacionismo – para a formulação de uma nova teoria. O objetivo é superar a dicotomia inicial em muitos dos seus aspectos críticos. Aquilo porém que os filósofos estão a adotar ou rejeitar pode variar. Trata-se de um programa em andamento, o qual depende parcialmente de desenvolvimentos científicos ainda por realizar. Pensamos que essa é, atualmente, a atitude mais promissora que qualquer teórico poderia adotar.

Elton Marques
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CNPq-Brasil
eltonjmarques@hotmail.com

⁵⁵ Nessa passagem, o autor toma a posição de Aristóteles como signatária de uma forma antiga de relacionismo. Poderíamos, *mutatis mutandis*, tomar Leibniz e muitos outros, cuja advertência e lição coincidem nisto. Note-se também que, apesar de Rovelli parecer professar uma forma de substantivismo, a sua proposta é modificada ou sofisticada em pelo menos dois pontos: pela identificação do espaço-tempo com o conceito de 'campo', e por aceitar algum grau de interdependência entre espaço-tempo e matéria, muito embora isso não afete o seu estatuto *per se*.

Referências

- Aristotle. 1963. *Categories and De Interpretatione* (Clarendon Aristotle Series). Trad. J. Ackrill. Oxford: Clarendon Press.
- Assis, André T. K. 1998. *Mecânica Relacional*. Campinas, sp, volume 22. cle
- Assis, Andre. T. K. e O. Junior Pessoa. 2001. cad. hist. fil. ci., campinas, série 3, v. 11, n. 2, p. 131-52.
- Balashov, Y. 2000. Enduring and Perduring Objects in Minkowski Space-Time. *Philosophical Studies* 99: 129-166.
- Belot, G. 2018. Fifty Million Elvis Fans Can't be Wrong. *Noûs* 52: 946-981.
- Belot, G. 1995. Indeterminism and Ontology. *International Studies in the Philosophy of Science* 9: 85-101.
- Berkeley, G. [1710]/1973. *Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano*. Trad. Antônio Sérgio. São Paulo: Abril Cultural. (Os Pensadores).
- Brans, Carl. H. 1962. Mach's Principle and the Locally Gravitational Constant in General Relativity. *Physical Review* 125: 388-396.
- Brighouse, C. 1994. Spacetime and Holes. Em D. Hull, M. Forbes e R. M. Burian (eds.), *PSA*, Volume 1: 117-125.
- Brighouse, C. 2020. Confessions of a (Cheap) Sophisticated Substantivalism. *Foundations of Physics* 50: 348-359.
- Bueno, O. 1999. O Empirismo Construtivo: Uma Reformulação e Defesa. Campinas, SP: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (Coleção CLE, v. 25).
- Builder, G. 1971. The Constancy of the Velocity of Light. *Australian Journal of Physics* 11: 457-80.
- Burt, Edwin, A. 2003. *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. Mineola, New York: Dover Publications.
- Butterfield, J. 1988. Albert Einstein Meets David Lewis. Em A. Fine e J. Leplin (eds.), *Proceedings of the 1988 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2: 65-81.
- Butterfield, J. 1989b. The Hole Truth. *The British Journal for the Philosophy of Science* 40: 1-28.
- Callender, C. 2008. Finding 'Real' Time in Quantum Mechanics. Em W. L. Craig e Q. Smith (eds.), *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. New York: Routledge.
- Cowling, S. 2015a. Non-qualitative Properties. *Erkenntnis* 80(2): 275-301
- Cowling, S. 2015b. Haecceitism. Em E. N. zalta (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/haecceitism/>>.
- Craig, W. L. 2008. The Metaphysics of Special Relativity: Three Views. Em W. L. Craig e Q. Smith, *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. New York: Routledge.
- Dasgupta, S. 2009. Individuals: An Essay in Revisionary Metaphysics. *Philosophical Studies* 145: 35-67.
- Dasgupta, S. 2011. Bare necessities. *Philosophical Perspectives* 25: 115-159
- Dasgupta, S. 2015. Substantivalism vs Relationalism about Space in Classical Physics. *Philosophy Compass* 10(9): 601-624.
- Descartes, R. 1985. *The Philosophical Writings of Descartes*. Trad. J. Cottingham, R. Stoothoff e D. Murdoch. Cambridge: Cambridge University Press.
- de Sitter, W. 1917. On the Relativity of Inertia: Remarks Concerning Einstein's Latest Hypothesis. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* 63: 205-222
- Earman, J. e J. Norton. 1987. What Price Spacetime Substantivalism? The Hole Story. *British Journal for the Philosophy of Science* 38(4): 515-525.
- Einstein, A. 1916. Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik* 49: 769-822.

- Einstein, A. 1918. Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der physik* 55:241-244.
- Einstein, A. 1982. *Notas Autobiográficas*, 3ª ed. Trad. A. S. Rodrigues. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- FitzGerald, G. F. 1889. The Ether and the Earth's Atmosphere. *Science* 13: 390
- Friedman, M. 1983. *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton: Princeton University Press.
- Gardner, M. 1977. Relationism and Relativity. *The British Journal for the Philosophy of Science* 28: 215-233.
- Grünbaum, A. 1957. The Philosophical Retention of Absolute Space in Einstein's General Theory of Relativity. *Philosophical Review* 66(4): 525-534.
- Grünbaum, A. 1963. *Philosophical problems of space and time*. New York: Alfred A. Knopf, Inc.
- Hinkfuss, I. 1988. Absolutism and Relationism in Space and Time: A False Dichotomy. *The British Journal for the Philosophy of Science* 39: 183-192.
- Hoefer, C, Nick Huggett e James Read. 2021. Absolute and Relational Space and Motion: Classical Theories. Em E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <<https://plato.stanford.edu/entries/space-time-theories-classical/>>.
- Horwich, P. 1978. On the Existence of Time, Space and Spacetime. *Nôus* 12 (4): 397-419
- Huggett, Nick, Carl Hoefer e James Read. 2021. Absolute and Relational Space and Motion: Post Newtonian Theories. Em E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/spacetime-theories/>>.
- Hume, D. [1739-40]/2000. *A Treatise of Human Nature*. Oxford: Oxford University Press.
- Ives, H. E. 1979. Derivation of the Lorentz Transformations. *Philosophical Magazine* 36: 392-401.
- Jacinto, B. 2013. Mundos Possíveis. Em João Branquinho e Ricardo Santos (eds.) *Compêndio em Linha de Problemas de Filosofia Analítica*. Centro de Filosofia da Universidade de Lisboa.
- Jammer, M. [1954]/2010. *Conceitos de Espaço: A História das Teorias do Espaço na Física*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Johnson, W. E. 1924. *Logic: Part III (The Logical Foundations of Science)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leibniz, G. W. 1983. *Correspondência com Clarke*. São Paulo: Victor Civita. (Coleção Os Pensadores).
- Lewis, D. 1986. *On the Plurality of Worlds*. Malden, Mass.: Wiley-Blackwell.
- Locke, J., 1997. *An Essay Concerning Human Understanding*. R. Woolhouse (ed.), London: Penguin Books.
- Mach, E. [1883]/1960. *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of its Development*. Open Court, La Salle.
- Markosian, N. 2004. A Defense of Presentism. *Oxford studies in metaphysics* 1(3): 47-82
- Maudlin, T. 1988. The Essence of Spacetime. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*: 82-91.
- Maudlin, T. 1990. Substances and Space-Time: What Aristotle Would Have Said to Einstein. *Studies in History and Philosophy of Science* 21(4): 531-61.
- Maudlin, T. 2008. Non-local Correlations in Quantum Theory: How the Trick Might Be Done. Em W. L. Craig e Q. Smith (eds.), *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. New York: Routledge.

- Melia, J. 1999. Holes, Haecceitism and Two Conceptions of Determinism. *British Journal for the Philosophy of Science* 50(4): 639-664.
- Newton, I. (1962) *Principia mathematica philosophiae naturalis*. University of California Press.
- Newton, I. 1962. *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. A. Rupert hall e Marie Boas Hall (eds.), Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, I. 1990. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Trad. Trieste Ricci. São Paulo: Nova Stella e Universidade de São Paulo.
- Newton, I. 1999. *Scholium to the Definitions*. Em *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Trad. I. Bernard Cohen e Anne Whitman. Berkeley: University of California Press
- Norton, J. 2015. The Hole Argument. Em *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/entries/spacetime-holearg/>>
- Pooley, O. 2013. Substantivalist and Relationalist. Approaches to Spacetime. Em Robert Batterman (ed.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Physics*. (Edição online, Oxford Academic, 5 Set. 2013), URL = <<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195392043.013.0016>>.
- Pooley, O. 2006. Points, Particles, and Structural Realism. Em Dean Rickles, Steven French e Juha Saatsi (eds.), *The Structural Foundations of Quantum Gravity*. Oxford: Oxford University Press.
- Pooley, O. 2021. The Hole Argument. Em Eleanor Knox e Alastair Wilson (eds.), *The Routledge Companion to the Philosophy of Physics*. Routledge.
- Prokhorovnik, S, J. 1985. *Ligh in Einstein's Universe*. Dordrecht: D. Reidel.
- Prokhorovnik, S, J. 1987. The Twin Paradoxes of Special Relativity. Their Resolution and Implications. *Foudations of Physics* 19(5): 541-52.
- Prokhorovnik, S, J. 1988. The Logic of the Clock Paradox. Apresentado na Conferência Internacional da Sociedade Britânica de Filosofia da Ciência. Physical Interpretations of Relativity Theory, 16-19 Setembro, Imperial College of Science and Technology, London.
- Quine, Willard, V. O. 1969. *Ontological Relativity & Other Essays*. New York: Columbia University Press.
- Ray, C. 1993. *Tempo, Espaço e Filosofia*. Campinas, SP: Papirus.
- Reichenbach, H. 1928. *Philosophie der Raum Zeit Lehre*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Reinhardt, M. 1973. Mach's Principle, A Critical Review. *Zeitschrittefur Naturforschung A* 28: 529-537.
- Rovelli, C. 2019. *A Ordem do Tempo*. Peguin Random House.
- Robinson, Howard e Ralph Weir. 2024. Substance. Em E. N. Zalta e Uri Nodelman (eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/substance/>
- Russell, J. 2013. Actuality for Counterpart Theorists. *Mind* 122: 85-134.
- Rynasiewicz, R. 2014. Newton's Views on Space, Time, and Motion. Em E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/newton-stm>>
- Sklar, L. 1974. *Space, Time, and Spacetime*. Berkeley: University of California Press.
- Sklar, L. 2021 *A Filosofia da Física*. Trad. Pedro Galvão, Paula Matues e Desidério Murcho. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Smith, Q. 2008. A Radical Rethinking of Quantum Gravity: Rejecting Einstein's Relativity and Unifying Bohmian Quantum Mechanics with a Bell-neo-lorentzian Absolute Time, Space and Gravity. Em W. L. Craig e Q. Smith (eds.), *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*. New york: Routledge.
- Teitel, T. 2019. Holes in Spacetime: Some Neglected Essentials. *Journal of Philosophy* 116(7): 353-389.
- Teller, P. 1991. Substances, Relations and Arguments about the Nature of Spacetime. *The Philosophical Review* 100(3): 363-397.

- Thirring, H. 1921. Berichtigung Zu Meiner Arbeit: Über die Wirkung Rotieren der Ferner Massen in der Einsteinschen Gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift* 22: 29-30.
- Wald, R. M. *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.