

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HISTÓRIA DA FILOSOFIA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

INDETERMINISMO, SUBSTANTIVISMO E O ARGUMENTO DO BURACO.
UMA QUESTÃO ACERCA DO ESTATUTO ONTOLÓGICO DO ESPAÇO-TEMPO

WILLYANS MACIEL

CURITIBA

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FILOSOFIA

WILLYANS MACIEL

INDETERMINISMO, SUBSTANTIVISMO E O ARGUMENTO DO BURACO.
UMA QUESTÃO ACERCA DO ESTATUTO ONTOLÓGICO DO ESPAÇO-TEMPO

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre do Curso de Mestrado
em Filosofia do Setor de Ciências Humanas,
Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Dr: Breno Hax Junior

CURITIBA

2013



AVALIAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Defesa nº 102 de 05/09/2013

Mestrando: Willyans Maciel

Título da Dissertação: "Indeterminismo, substantivismo e o argumento do buraco. Uma questão acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo."

Integrantes da banca examinadora	Notas
Prof. Dr. Breno Hax Junior (UFPR) Orientador e Presidente da banca examinadora	9
Prof. Dr. Décio Krause (UFSC) Primeiro examinador	9
Prof. Dr. Eduardo Salles de Oliveira Barra (UFPR) Segundo examinador	9
Média final	9
Conceito	A

Os examinadores atribuem nota em escala de zero a 10 (dez), sendo considerado aprovado o mestrando que obtiver como nota final, a média aritmética superior a 7 (sete). No parecer emitido por ocasião da defesa, constará a nota e o critério: **CONCEITO**.

Os examinadores registraram no corpo da dissertação as correções sugeridas.

Dr. Breno Hax Junior

Orientador e Presidente da banca examinadora
UFPR

Dr. Décio Krause

Primeiro Examinador
UFSC

Dr. Eduardo Salles de Oliveira Barra

Segundo Examinador
UFPR

§ 1º - Será considerado aprovado o aluno que lograr os conceitos A, B ou C.

A = Excelente = 9,0 a 10,0

B = Bom = 8,0 a 8,9

C = Regular = 7,0 a 7,9

D = Insuficiente = zero a 6,9



ATA DA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Defesa nº 102 de 2013

Ata da Sessão Pública de Exame de Dissertação para
Obtenção do Grau de MESTRE em FILOSOFIA, área de
concentração: **FILOSOFIA.**

Ao quinto dia do mês de setembro do ano de dois mil e treze, às dezesseis horas, nas dependências do Programa de Pós-Graduação em Filosofia, do Setor de Ciências Humanas, da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Filosofia, composta pelos Professores: Dr. Décio Krause (UFSC), Dr. Eduardo Salles de Oliveira Barra (UFPR), sob a orientação do professor Dr. Breno Hax Junior, com a finalidade de julgar a dissertação do candidato Willyans Maciel intitulada "**Indeterminismo, substantivismo e o argumento do buraco. Uma questão acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo.**", para obtenção do grau de mestre em Filosofia. O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pelo Programa de Pós-Graduação em Filosofia, com abertura, condução e encerramento da sessão solene de defesa feitas pelo Professor Dr. Breno Hax Junior. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros da banca examinadora deliberaram pela "APROVAÇÃO" do mesmo HABILITANDO-O ao título de Mestre em FILOSOFIA, na área de concentração FILOSOFIA, desde que apresente a versão definitiva da dissertação no prazo de sessenta (60) dias, conforme Res.65/09-CEPE-Art.67 e Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Filosofia. E, para constar, eu Aurea Junglos, Secretária Administrativa do Programa, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca.

Curitiba, 05 de setembro de 2013.

Aurea Junglos

Secretaria Administrativa PGFILOS/UFPR

Dr. Breno Hax Junior

Orientador e Presidente da banca examinadora
UFPR

Dr. Décio Krause

Primeiro examinador
UFSC

Dr. Eduardo Salles de Oliveira Barra

Segundo examinador
UFPR



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS HUMANAS LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA - MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HISTÓRIA DA FILOSOFIA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Por decisão do Colegiado do Programa o aluno deverá atender as solicitações da banca, quando houver, e anexar este ao final da dissertação como versão definitiva aprovada pelo orientador, que neste momento estará representando a Banca Examinadora.

Curitiba, 17 OUTUBRO DE 2013

Prof. Doutor BRENO HAX JUNIOR Assinatura: Breno Hax Junior

Resumo

As questões apresentadas por Earman & Norton em seu “What price spacetime substantivalism” foram exaustivamente discutidas ao longo das décadas de 1980 e 1990, especialmente sua tese principal, a tese de que assumir a posição de que o espaço-tempo tem existência substantiva reduz o poder de predição de nossas teorias do espaço-tempo, levando-as em direção a uma forma radical de indeterminismo.

Neste trabalho pretendo introduzir o debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo em língua portuguesa, por meio dessa associação entre substantivismo e o chamado Indeterminismo Radical Local.

Ao final como se configuram as posições no debate acerca do espaço-tempo após a publicação do artigo de Earman & Norton e a discussão provocada por ele, que deu origem a uma nova forma de substantivismo, o Substantivismo Sofisticado.

Sumário

Introdução.....	4
Capítulo 1.....	7
Substantivismo, relacionismo e a origem do Argumento do Buraco.....	7
Substantivismo acerca do espaço-tempo.....	7
Substantivismo ou substantivalismo?.....	8
Relacionismo acerca do espaço-tempo.....	9
O Argumento original, suas controvérsias e a reformulação.....	10
O papel do determinismo no debate.....	11
Capítulo 2.....	14
O Argumento do Buraco de Earman & Norton [1987].....	14
Apresentação da estrutura do Argumento do Buraco.....	15
Argumento Principal, Teorias do Espaço-tempo Local e Indeterminismo.....	17
A forma das teorias do espaço-tempo local.....	21
Exemplo.....	22
A Relatividade Geral satisfaz a Condição Complementar.....	23
A Variedade M representa o espaço-tempo.....	24
Naturalismo e abrangência do argumento.....	25
Indeterminismo, a segunda premissa.....	26
O argumento subsidiário, Substantivismo e a negação da Equivalência de Leibniz.....	28
Dilemas ao Substantivista.....	31
Dilema Verificacionista.....	32
Dilema Indeterminista.....	34
Resultados do Argumento do Buraco.....	37
Considerações sobre os resultados do Argumento do Buraco.....	38
Argumento três: da inaceitabilidade do substantivismo.....	39
Substantivismo como uma inflação ontológica.....	41
Capítulo 3.....	43
Respostas e reações ao Argumento do Buraco: Um panorama do impacto dos resultados do argumento no debate.....	43
Substantivismo Clássico.....	43
Relacionismo.....	44
Substantivismo Sofisticado.....	44
Maudlin, a origem do substantivismo sofisticado.....	46
Conclusão.....	49
Bibliografia.....	51

Introdução

"O que é espaço? O que é tempo? Existem eles independentemente das coisas e processos neles? Ou sua existência é parasitária dessas coisas e processos? Seriam eles como um cavalete no qual um artista pinta; eles existem quer o artista pinte neles ou não? Ou são como a paternidade; não há paternidade até que hajam pais e filhos? Isto é, não existem espaço e tempo até que hajam coisas com propriedades espaciais e processos com durações temporais?"¹

O debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo é muito profícuo, muitas páginas já foram escritas e poderíamos escrever ainda muitas páginas mais, sem esgotar o assunto ou resolver a questão. Devido a isto, me vi obrigado a concentrar este trabalho em apenas uma das muitas questões que podem ser formuladas acerca da natureza do espaço-tempo, a saber, se nossa adesão à posição hoje denominada substantivismo clássico leva a uma forma radical de indeterminismo nas teorias do espaço-tempo, o chamado Indeterminismo Radical Local, como acusam Earman & Norton [1987], com seu Argumento do Buraco. E, como consequência disso, defenderei que são justificáveis os motivos apontados por estes autores para abandonarmos a posição de que o espaço-tempo tem existência primitiva e substantiva, de acordo com o substantivismo clássico. Entretanto, não pretendo resolver a questão, pois o debate prossegue após a formulação do Argumento do Buraco de Earman & Norton, e muitos autores oferecem respostas interessantes ao argumento. Porém, mesmo não findando o debate, a escolha desta questão se justifica devido ao Argumento do Buraco ocupar uma posição de destaque na discussão acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, pois foi o divisor de águas que obrigou substantivistas a reanalisarem suas posições, assumindo posturas que não desejavam, ou sofisticando sua interpretação do substantivismo, para comportar os resultados do Argumento do Buraco, ou se opor a estes. De maneira que não julgo exagerado dizer que o Argumento do Buraco de Earman & Norton [1987] é a pedra de fundação do debate contemporâneo acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo.

O artigo "What price space-time substantialism" vem na esteira de um debate secular,

¹ Norton[1999] pg. 1

neste trabalho meus esforços serão concentrados na forma restaurada e reformulada por autores como Sklar (1976) e Friedman (1983), no âmbito da Teoria da Relatividade, no entanto o debate remete as posições de Newton e Leibniz, e as discussões acerca do estatuto ontológico do que chamamos espaço e tempo estão presentes na filosofia desde muito antes. As questões levantadas por Earman & Norton foram exaustivamente discutidas ao longo dos anos seguintes, como se ninguém pudesse defender o substantivismo acerca do espaço-tempo antes de responder a esses dois autores. Não faltam exemplos de artigos que levantavam a questão, buscando responder ou se adequar ao Argumento do Buraco, antes de formular suas próprias questões acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, entre os mais proeminentes podemos citar Rynasiewicz [1994, 1996], Mundy [1992], Leeds [1995], Butterfield [1989] e muitos outros. Mas não apenas nos anos que seguiram à publicação, mas ainda nos anos recentes continua a influenciar as publicações na área, como nos informa em seus artigos Pooley [2000, 2003, 2004, 2006].

Feita esta apresentação, o objetivo principal desse trabalho é introduzir o debate acerca do espaço-tempo, por meio da apresentação e análise do Argumento do Buraco, formulado por Earman & Norton [1987], que tem por principal questão apresentar o substantivismo como uma tese comprometida com o que eles chamaram Indeterminismo Radical Local, uma forma de indeterminismo ontológico que surge nas teorias do espaço-tempo quando assumimos o espaço-tempo como sendo uma substância, tal qual desejam os defensores da posição substantivista ou, como Sklar [1972] nomeou, doutrina da substância. No curso da análise busco compreender e explicar o funcionamento do argumento apresentado pelos autores, procurando torná-lo o mais claro possível.

No primeiro capítulo me concentrei na apresentação da base teórica, das posições e informações necessárias para se compreender como o debate se caracterizava na época em que o Argumento do Buraco aparece pela primeira vez, como uma tentativa de combater o substantivismo, em Earman & Norton [1987].

No segundo capítulo procurei apresentar o argumento, conciliando duas análises do mesmo, Rynasiewicz [1994 e 1996] com o texto original de Earman & Norton [1987] e, a partir delas, formulando minha própria tese acerca da formalização e funcionamento da estrutura do Argumento do Buraco, que além de apresentar os objetivos próprios do argumento expõe a forma de trabalho dos autores que o propuseram. Também analiso a conclusão e as consequências que advêm de tal estrutura.

No terceiro capítulo busco montar um panorama de como se configura o debate após o Argumento do Buraco, quais posições mudaram ou tiveram de ser reformuladas, ou sofisticadas, e

quais posições permanecem inalteradas, e como o Argumento do Buraco afeta as consequências dessas posições. Nesse capítulo pretendo apenas oferecer ao leitor uma rápida visão geral das possibilidades abertas pelo Argumento do Buraco para o debate, por meio da apresentação das três principais posições no debate e, tomando como exemplo Maudlin [1990], como alguns autores reagiram para salvar ou sofisticar o substantivismo.

É importante notar que diferentes autores utilizam diferentes notações e nomenclaturas, nesse trabalho, para facilitar a compreensão, procurei unificar as notações e nomenclaturas sempre que possível. Também há muitos desdobramentos dentro do debate, envolvendo questões que exigem mais conhecimento do formalismo físico ou notações diferentes, que muitas vezes exigiriam um trabalho próprio focado apenas nessas questões. Essas questões não serão abordadas, quando necessário serão citadas em nota, mas não as explorarei exaustivamente, visando manter o foco na forma e desenvolvimento do Argumento do Buraco, não me desviando para questões específicas dentro dele, ou outras questões em disputa no debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo.

Capítulo 1

Substantivismo, relacionismo e a origem do Argumento do Buraco

Neste primeiro capítulo, procurarei expor as duas principais correntes que compõem o debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, relacionismo e substantivismo. Ambas procuram apresentar uma explicação consistente e verdadeira, e o mais simples possível, sobre o que o espaço-tempo realmente é, e que seja preferencialmente compatível com o que já sabemos acerca do comportamento do espaço-tempo em particular e da realidade em geral. Porém tais posições seguem caminhos essencialmente diversos, de maneira que não parece ser possível sustentar ambas as posições, sem que isto implique em contradições e inconsistências, pois, embora possam concordar em elementos particulares, a base do substantivismo é postulada de maneira que de partida se opõe à base do relacionismo, sendo o contrário também verdadeiro, como veremos abaixo.

Substantivismo acerca do espaço-tempo

"Substantivistas entendem a existência do espaço-tempo em termos da existência de suas 'pointlike parts'² e interpreta relações espaço-temporais entre eventos materiais em termos de relações espaço-temporais entre pontos nos quais esses eventos ocorrem."³

De acordo com Belot & Earman [2001] e Hoefler [1996], substantivismo é a posição que descreve o espaço-tempo como uma substância, uma entidade que pode existir independente do que quer que nele exista, seja matéria, campos, luz, etc. Supondo portanto que os objetos estão dispostos sobre o espaço-tempo, como, para usar a alegoria de Norton [1999], uma pintura está disposta sobre

² Na falta de uma boa tradução para "pointlike parts" mantenho o termo, que pode ser explicado como sendo partes do espaço-tempo definidas como pontos, cada parte do espaço-tempo pode ser entendida como um ponto no espaço-tempo, uma analogia com uma linha que pode ser decomposta em pontos é útil para compreender o significado da expressão, embora, em nossa experiência cotidiana, linhas pareçam possuir apenas uma dimensão.

³ Belot & Earman [2001]

a tela, cada ponto de tinta ocupa um lugar na tela como, guardadas as proporções, cada objeto ocupa um ponto no espaço-tempo. E que o espaço-tempo é apropriadamente descrito como algo que possui suas propriedades, independente das propriedades de qualquer coisa, material ou não que nele exista. Isto é, nem suas propriedades, nem menos ainda sua existência, são determinadas pelos objetos nele dispostos. Pode ser entendido, em parte, como uma reformulação do absolutismo newtoniano nos termos das teorias do espaço-tempo atuais, pois, embora Newton não estivesse de posse do conceito de espaço-tempo, mas apenas de espaço e tempo separados, temos entidades cuja existência independe das relações dos objetos que nelas existem.

É importante notar que, embora postule uma entidade cuja existência não é diretamente apoiada pela física⁴, o substantivismo acerca do espaço-tempo não é uma eliminação das relações expressas pela física ou do espaço-tempo relativo da Teoria da Relatividade de Einstein, mas a suposição de que algo mais, além das relações estabelecidas e medidas pela física, existe independente dos relatas, objetos cosmológicos⁵ presentes nessas relações. Os objetos cosmológicos estariam portanto em relação com o espaço-tempo além de estarem em relação uns com os outros, como postulam nossas **teorias** físicas. Pensando dessa maneira o substantivismo acerca do espaço-tempo pode ser entendido como a negação da suposição de que o espaço-tempo seja meramente o conjunto de relações entre o que quer que exista. Embora esta seja uma boa maneira de posicionar o substantivismo no debate, não deve ser entendida como uma definição. A definição das posições no debate é complicada devido à falta de consenso acerca de elementos e noções entre os próprios substantivistas. Esse tipo de conflito tem se reduzido nos últimos anos, como nos mostra Pooley [2006], devido ao constante refinamento das posições envolvidas no debate, embora ainda não tenha se extinguido totalmente.

Substantivismo ou substantivalismo?

Nas poucas referências que temos em língua portuguesa encontram-se algumas traduções que optaram por traduzir o termo "space-time substantivalism" por "substantivalismo acerca do espaço-tempo", porém a posição oposta "space-time relationalism" é traduzida como

⁴ Em sua forma básica (ou clássica) acreditava-se que o substantivismo poderia ser aceito ou rejeitado pelo físico, sem prejuízo para as teorias com as quais este trabalha. Isto muda, como veremos nos próximos capítulos, após a formulação do Argumento do Buraco.

⁵ Aqui faço um uso muito particular da expressão *objeto cosmológico*, que funcionará nesse trabalho como um *guardador de lugar* para qualquer coisa que exista ou aconteça em nosso universo, seja material ou não, e que não seja o próprio espaço-tempo, isto inclui "eventos" e "intervalos", bem como todo tipo de "movimento". Hofer [1996] não inclui eventos, intervalos e movimentos em sua explicação, mas como Norton [1999, 1992] e Belot & Earman [2001] aceitam que o substantivismo supõe a independência total do espaço-tempo parece haver razões suficientes para se incluir também a independência do espaço-tempo em relação a estes.

"relacionismo acerca do espaço-tempo" e não como "relacionalismo acerca do espaço-tempo".

Parece-me correto procurar a solução mais simples e, neste caso, assumirmos que as duas posições tenham o mesmo tipo de grafia, é mais simples do que assumirmos um tipo de grafia para cada posição, ainda "relacionismo e substantivismo" me parecem traduções mais simples do que "substantivalismo e relacionalismo", por isso optei por empregar a primeira opção. Acessoriamente não tenho conhecimento de nenhuma posição ou teoria diferente desta aqui apresentada que receba o nome "substantivismo acerca do espaço-tempo" e por isso o termo não pode causar qualquer confusão. Essa opção lembra a decisão de usar o termo "teórico" para traduzir "theoretical" ao invés do rebuscado termo "teorético" que não diz mais do que "teórico".

Relacionismo acerca do espaço-tempo

“Relationists will deny that spacetime points enjoy this robust sort of existence, and will accept spatiotemporal relations between events as primitive”⁶

Relacionismo acerca do espaço-tempo é aqui entendido como a posição que nega que os pontos do espaço-tempo possuem o tipo de existência apresentado pelo substantivismo e aceita que relações espaço-temporais entre eventos são primitivas, ou seja, que não existe algo anterior, ou mais básico, do que as relações entre eventos, o espaço-tempo seria portanto meramente uma construção físico-matemática, ou matemático topológica, que dá conta das relações entre os objetos cosmológicos.

De maneira semelhante ao que ocorre com o substantivismo, há discordância entre os relacionistas sobre questões específicas, especialmente acerca do que seria o ponto principal, qual é a relação primitiva, formando-se assim vários tipos de relacionistas. Neste trabalho referirei apenas àquilo em que concordam, que relacionismo seria não apenas a negação de que o espaço-tempo é uma substância que possui existência independente dos objetos cosmológicos, mas também a afirmação de que alguma relação, ou tipo de relação, é primitiva em relação ao espaço-tempo, seja ela qual for. Portanto, embora Earman & Norton [1987] se apresentem como relacionistas, o Argumento do Buraco não é um argumento relacionista por si mesmo, pois pretende apenas negar

⁶ “Relacionistas negarão que os pontos do espaço-tempo tem esta forma robusta de existência, e aceitarão relações entre eventos como primitivas.” Belot & Earman [2001]

que o substantivismo seja correto e não apresentar uma prova ou evidência de qual relação é primitiva. Dessa forma, assumindo esta descrição básica de relacionismo, apenas para fins informativos, não teremos nenhum prejuízo ao longo desse estudo.

O Argumento original, suas controvérsias e a reformulação

O argumento do qual tratarei nesta dissertação tem origem em um experimento formulado por Albert Einstein e ficou conhecido como Argumento do Buraco (Hole Argument). De acordo com Norton [1999], é uma questão controversa se o trabalho iniciado por Einstein objetivava tratar apenas de resolver uma confusão quanto à liberdade de estabelecimento de coordenadas, uma questão eminentemente física e de carácter pouco filosófico, ou ele pretendia tratar do estatuto ontológico do espaço-tempo, como, ainda de acordo com Norton [1999], alguns filósofos da física estão dispostos a afirmar.

Uma estratégia para lidar com este tipo de controvérsia é um expediente comum em filosofia, a saber, supor que uma teoria ou argumento pode ser útil a, e ter como implicação, outros fins que não aqueles inicialmente propostos por seu autor, e assim explorar essa possibilidade. Outra solução inspirar-se nas ideias e resultados advindos daquele trabalho e, por meio de uma reformulação adaptá-lo ao tema específico que se pretende investigar. E esta última opção é a que Earman & Norton [1987] adotaram para seu trabalho.

Uma das diferenças mais marcantes, e que ao mesmo tempo mostra a opção em reformular apenas se inspirando no trabalho original, é o que os autores entendem por “buraco” (hole) nos dois casos.

“The name of this corollary stems from Einstein's original discovery of it in a specialised form. He considered a matter free hole in a source mass distribution and showed that the gauge freedom of any generally covariant gravitational field equation in general relativity allowed multiple metric fields within the hole.”⁷

⁷ Earman & Norton [1987] p. 523

Nos trabalhos de Einstein, o Buraco era uma região do espaço-tempo livre de matéria. No trabalho de Earman & Norton [1987] o Buraco é simplesmente uma região delimitada do espaço-tempo, não havendo necessidade de que esta região seja livre de matéria. Isto fica mais claro quando analisamos a conclusão apresentada logo após a citação acima.

"O estado interno de qualquer região delimitada da variedade nunca poderá ser determinado pelo exterior da variedade."⁸

Note-se que os autores falam sobre o estado de qualquer região delimitada, ou vizinhança (neighborhood), e não sobre o estado de uma região em especial com a particularidade de não comportar matéria alguma.

Como veremos no próximo capítulo, o substantivista se compromete com a afirmação de que modelos distintos representam situações físicas distintas e é possível definir ao menos dois modelos para cada região delimitada do espaço-tempo, pares de modelos que mais à frente chamaremos de Leibniz Shifted Models, o problema (indeterminismo) se instaura sem a necessidade de que a região delimitada tenha alguma condição específica (singularidade), como no caso de Einstein, em que a região delimitada não contém matéria. Dessa forma também os resultados do Argumento do Buraco podem ser generalizados para todo o universo, uma vez que podemos considerar qualquer região que delimitemos. Já os de Einstein não podem, sendo relevantes apenas para aquela variedade que contém a singularidade ou, no máximo, para outra variedade com a mesma condição.

O papel do determinismo no debate

O argumento em particular, e o debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo em geral, centra-se muito na noção de indeterminismo, em dois sentidos abaixo formulados:

1 – Indeterminismo epistemológico/metodológico: Trata-se de uma deficiência na capacidade de predição das nossas teorias, não é o caso que haja indeterminismo na realidade, mas é o caso que não somos capazes de predizer a realidade. Nesse caso pode ser que nossos instrumentos ou teorias sejam insuficientes e no futuro tenhamos condições de efetuar a predição.

⁸ Earman & Norton [1987] p. 523

2 – *Indeterminismo ontológico/metafísico*: Quando a própria realidade é indeterminada e por isso não é possível dizer que algo é desse ou daquele jeito, pois não há nada na realidade que a obrigue a assumir uma das duas formas. Não importa quão sofisticados sejam nossos instrumentos e teorias, se há indeterminismo na própria realidade, jamais seremos capazes de realizar previsões acerca daquilo que é indeterminado.

Reformulando o Argumento do Buraco, em parte para evitar o tipo de objeção comentada acima, em parte para adequá-lo aos objetivos da proposta dos autores, Earman & Norton [1987] pretendem demonstrar que assumir a posição atualmente denominada substantivismo, leva a uma forma muito radical de indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local forçando o substantivista ao que eles chamaram “dilema do Indeterminismo Radical Local”:

(a) abandonar seu substantivismo

(b) Aceitar que o Indeterminismo Radical Local é o caso

O Indeterminismo Radical Local é, segundo Earman & Norton, uma consequência do substantivismo, que pode ser facilmente percebida com, parafraseando Norton [1999], um pequeno esforço de análise detida da forma e funcionamento das teorias do espaço-tempo. Devido à necessidade de conceitos prévios para a sua formulação, o referido indeterminismo será inteiramente apresentado mais à frente. Este é um caso de indeterminismo do segundo tipo acima apresentado, indeterminismo ontológico/metafísico, ou seja, as teorias falham em prever não por serem defeituosas ou insuficientes, mas por haver indeterminismo na própria natureza do espaço-tempo, em um caso local.

Acrescentando-se a isto a ideia de que (c) o indeterminismo ontológico pode ser o caso apenas por uma causa física e não pela aceitação de uma posição ontológica que não acrescentaria, nessa análise, nada à nossa capacidade preditiva, ou seja, eliminando-se a possibilidade de se aceitar (b), os autores concluem que (d) o substantivismo deve ser abandonado. Embora ressaltem que não estão de antemão assumindo a verdade do relacionismo, afirmam que essa posição tem uma grande vantagem na tentativa de descrever o estatuto ontológico do espaço-tempo. Ou seja, o relacionismo pode igualmente falhar, mas não é possível que o substantivismo seja o caso.

Nessa análise, como anteriormente alertado, o relacionismo é considerado simplesmente como a posição que pretende afirmar que o espaço-tempo não tem existência independente dos objetos cosmológicos nele existentes mas é apenas um conjunto de relações entre esses objetos, construindo uma rede de relações, também chamada construto matemático-topológico. Dessa forma os autores se eximem de adentrar à discussão entre os diversos tipos de relacionismo, atendo-se ao

que todas as formas de relacionismo têm de mais básico, a redução do espaço-tempo às relações espaço-temporais, a afirmação de que há uma relação primitiva, ou um conjunto de relações primitivas.

Capítulo 2

O Argumento do Buraco na formulação de Earman & Norton [1987]

Como bem pontuado por Rynasiewicz [1994] o Argumento do Buraco, na versão de Earman & Norton [1987], se dá em duas partes, e, como apresentado por Rynasiewicz [1996], está baseado em três premissas, que funcionam como plano de fundo para o argumento, embora não sejam suficientes caso desejemos formalizá-lo totalmente, mas apenas fornecem as três ideias mais fundamentais do argumento, pois o elemento crucial do Argumento do Buraco é que ele se dá na forma de uma redução ao absurdo, de maneira que a parte mais importante são as consequências extraídas de sua conclusão, e para formalizar o argumento como um todo precisaremos considerar os dilemas que o alvo do argumento, o substantivista, é conduzido a enfrentar ao longo de seu desenvolvimento. A novidade que se apresenta nessa dissertação é que tratarei as duas formulações (Rynasiewicz [1994 e 1996]) conjuntamente, na tentativa de melhor formular o argumento, explicitando o movimento entre as premissas, para mostrar que o substantivismo, como formulado até então, é uma posição inaceitável, devido as consequências que somos forçados a admitir caso desejemos aceitá-lo.

O argumento se desenvolve em duas partes principais, um argumento principal e um argumento secundário, ou subsidiário como diz Rynasiewicz [1994]. Defendo que cabe à primeira e segunda premissas apresentadas por Rynasiewicz [1996] a função de fundamentar a primeira parte, o argumento principal. À terceira premissa, apresentada por Rynasiewicz [1996], cabe fundamentar a segunda parte, o argumento subsidiário, de maneira complementar à primeira. Sendo assim, o Argumento do Buraco é um argumento composto de, pelo menos, dois argumentos menores.

Como pontuado acima, embora esta formulação seja suficiente para explorarmos a forma do Argumento do Buraco, ainda é preciso adentrar nos dilemas desenvolvidos por Earman & Norton [1987] para compreender quão problemática é a consequência do substantivismo. Por ser o Argumento do Buraco apresentado como uma redução ao absurdo, são apresentadas as condições e então o substantivista, que se supõe estar a ler o artigo, é levado a concordar com consequências indesejadas e inaceitáveis de sua tese. Tal aprofundamento nos dilemas será levado a cabo em detalhes quando tratarmos da terceira premissa, ao final deste capítulo.

Para dar tratamento à questão, dividi o Argumento do Buraco em outras partes, além

daquelas já citadas, de modo a termos uma estrutura a seguir, que permita melhor compreender os passos do argumento, sendo composta por um argumento principal, um argumento subsidiário e um terceiro argumento, através do qual se chegará à conclusão que recusa o substantivismo.

Apresentação da estrutura do Argumento do Buraco

Argumento principal

Premissa 1 – “Qualquer teoria do espaço-tempo “geralmente covariante” tem pares de modelos, relacionados por difeomorfismo, que são idênticos, no entanto [estes modelos] concordam no que se refere à variedade mas discordam no restante. (Chamemos isto de Leibniz Shifted Models)”

Premissa 2 - “Uma teoria é indeterminista apenas no caso de admitir situações físicas distintas como idênticas sob o mesmo tempo dado.”

Conclusão 1 – Qualquer teoria comprometida com a tese de que os Leibniz Shifted Models representam situações físicas distintas será indeterminista.

Argumento subsidiário

Premissa 1 – É a conclusão do argumento principal – Qualquer teoria comprometida com a tese de que os Leibniz Shifted Models representam situações físicas distintas será indeterminista.

Premissa 2 – Seria a premissa 3 na formulação de Rynasiewicz [1996] – “Substantivismo está comprometido com a tese de que modelos distintos representam situações físicas distintas. (Chamemos esta tese de Model Literalism).”

Conclusão 2 – Substantivismo é uma tese indeterminista; automaticamente decide em favor do indeterminismo.

Até aqui temos o argumento que nos leva da formulação das teorias do espaço-tempo até a afirmação do indeterminismo do substantivismo, conforme apresentado neste capítulo. Nas próximas linhas procurarei apresentar a estrutura pela qual Earman & Norton [1987] concluem que o substantivismo é inaceitável, pois mesmo provando que o substantivismo é uma teoria indeterminista ainda poderíamos aceitá-lo, o que os autores não fazem, para isso é preciso convencer o substantivista de que a conclusão de que sua posição é indeterminista é problemática, como veremos através dos dilemas, a serem apresentados posteriormente, mas um a vez tenhamos identificado o substantivismo como inaceitável poderemos recusá-lo, é dessa identificação que trata a parte seguinte do argumento.

Argumento três

Premissa 1 – Substantivismo é uma teoria indeterminista; automaticamente decide em favor do indeterminismo.

Premissa 2 – Critério de inaceitabilidade de uma tese metafísica, formulado a partir de Earman & Norton [1987] e Norton [1999] – Uma tese é inaceitável se, não adicionando nenhum novo poder preditivo a nossas teorias, automaticamente decida em favor do indeterminismo.⁹

Premissa 3 – Substantivismo não adiciona nenhum novo poder preditivo a nossas teorias¹⁰.

Conclusão 3 – O substantivismo é inaceitável.

⁹ Conforme Earman & Norton [1987] pp. 516 e 524.

¹⁰ Conforme Earman & Norton [1987] p. 516

Argumento Principal, Teorias do Espaço-tempo Local e Indeterminismo

"O argumento principal mostra que uma tese particular a respeito da relação entre os modelos de uma teoria e as situações possíveis que eles supostamente representam tem a indesejada consequência de que o indeterminismo falha miseravelmente em qualquer teoria do espaço-tempo."¹¹

Esta tese particular apontada por Rynasiewicz[1994] é a tese de que os diferentes modelos de uma teoria representam situações físicas distintas.

A primeira premissa, apresentada na seção anterior, diz respeito ao que Norton&Earman[1987] entendem por teorias do espaço-tempo local e seu funcionamento, podendo a referida premissa ser formulada da seguinte maneira:

(1) "Qualquer teoria do espaço-tempo "geralmente covariante" tem pares de modelos, relacionados por difeomorfismo, que são idênticos, no entanto [estes modelos] concordam no que se refere à variedade mas discordam no restante. (Chamemos isto de Leibniz Shifted Models)"

Rynasiewicz entende que esta premissa apresenta o que há de mais relevante na forma como Earman & Norton compreendem o funcionamento das Teorias do Espaço-tempo, um teorema que os autores chamaram *Gauge Theorem*. Nas linhas que seguem apresentarei a descrição dessas teorias, apresentação esta que deve justificar a afirmação da premissa, explicando melhor o que são e como se comportam os Leibniz Shifted Models, bem como seu funcionamento.

A primeira pergunta a se fazer é, o que são Teorias do Espaço-tempo Local?

Earman & Norton [1987] chamam de teoria do espaço-tempo local a mesma classe que Rynasiewicz chama de "generally covariant"¹² ¹³ spacetime theory, o conjunto das teorias do espaço-tempo local é idêntico ao conjunto das teorias do espaço-tempo geralmente covariantes, pois ambos atributos estão conectados, Rynasiewicz buscou usar um termo mais expressivo para falar de teorias cujas leis e equações covariam em regiões delimitadas do espaço-tempo de maneira geral, ou seja, segundo as regras de covariância estabelecidas por Einstein, o termo local se refere ao fato de que

¹¹ Rynasiewicz [1994] p. 408.

¹² "generally covariant", que traduzirei aqui por "geralmente covariante", se refere ao fato de essas teorias estarem submetidas à Covariância Geral.

¹³ Covariância geral é normalmente descrita como a invariância das leis físicas sob transformações de coordenadas abstratas arbitrárias, ou, como a invariância de forma das equações do espaço-tempo nas referidas transformações. Nesse sentido uma lei ou forma de equação válida para uma configuração global será igualmente válida para uma configuração local e para qualquer outra configuração local. Norton[1987].

essas teorias não fazem afirmações sobre o universo globalmente, mas apenas sobre uma variedade. Utilizarei a nomenclatura de Earman & Norton [1987] pois me parece que, em português, o termo de Rynasiewicz não é suficientemente expressivo para justificar seu uso, ao contrário pode gerar confusões no corpo do texto.

Para Earman & Norton [1987] uma teoria do espaço-tempo local é 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 , definidos para cada ponto em M , cada objeto identificado por um número inteiro, todos os modelos da teoria teriam essa mesma estrutura, por isso difeomorfos¹⁴ (isomórfos¹⁵ entre variedades¹⁶).

Modelos são aqui entendidos como a forma como a teoria apresenta os recortes locais do espaço-tempo sobre os quais suas leis se aplicam, de forma menos sofisticada, mas ainda correta, poderíamos dizer que modelos são mapas do espaço-tempo formulados de acordo com uma teoria. Como a teoria é local, se analisarmos uma região do espaço-tempo teremos um modelo daquela região, que segue a estrutura proposta por tal teoria, no caso $\langle M, O_1, O_2 \dots O_n \rangle$. Quando analisamos, por exemplo, o mesmo recorte do espaço-tempo a partir de um sistema de coordenadas diferente, realizamos o que Norton [1992] chama de transformação de coordenadas, e quando mudamos o sistema de coordenadas precisamos de um novo modelo, pois muda a posição relativa da variedade e dos objetos presentes em nosso recorte. Então teremos outro modelo, formulado seguindo a mesma teoria, que explica o mesmo recorte do espaço-tempo a partir de um sistema de coordenadas diferente, um modelo difeomorfo em relação ao primeiro, possui a mesma estrutura, mas discorda quanto ao restante, variedade e objetos estão em posição e orientação relativa diferente do outro modelo. Por isso os autores chamam as teorias que possuem tais modelos de *teorias do espaço-tempo local*, também por isso as teorias possuem pares de modelos, pois se temos um modelo formulado, sempre é possível, ao menos em tese, efetuar uma mudança no referencial e formular um modelo da teoria a partir de outro sistema de coordenadas, pelo menos um, senão vários modelos.

Nem sempre a transformação será uma transformação de coordenadas, Norton [1992]

¹⁴ Difeomorfismo é um isomorfismo entre modelos referentes a variedades diferenciais, o exemplo mais típico desse tipo de isomorfismo é justamente o que utilizamos aqui, transformações de coordenadas. Quando transformamos coordenadas, de uma região para outra, ou para outras coordenadas com a mesma estrutura, supomos modelos difeomorfos.

¹⁵ De maneira simplificada, mas suficiente para satisfazer o propósito deste trabalho, modelos isomórfos são modelos que possuem a mesma estrutura.

¹⁶ Variedade é aqui utilizada em seu sentido matemático, o termo é regularmente utilizado na física matemática para traduzir a expressão Manifold, quando esta se refere à topologia em sistemas de coordenadas espacotemporais, é entendido como uma generalização dos objetos que podem ser considerados planos, em torno de um determinado ponto. Assim a ideia de Variedade aqui empregada é melhor definida pelo termo Variedade Topológica, que é nesse contexto não mais que um espaço topológico que localmente é similar a um espaço euclidiano, embora globalmente possa ser não-euclidiano. Ver Halliday[2004].

admite que qualquer transformação exige a formulação de um novo modelo, uma vez que transformações mapeiam um grupo em outro, incluindo rotações, translações (no sentido geométrico), reflexões (no sentido matemático), transformações lineares, entre outras. Para este trabalho irei me ater ao tipo de transformação mais simples que é mais amplamente utilizada na discussão, a transformação de coordenadas.

O Gauge Teorem é, segundo Earman & Norton [1987], não mais que a afirmação da Covariância Geral entre modelos de uma mesma teoria do espaço-tempo local, por isso Rynasiewicz pode chamar as teorias com as quais Earman & Norton trabalham de Teorias do Espaço-tempo “Geralmente Covariantes”. O Gauge Teorem estabelece que se um modelo é modelo de uma teoria do espaço-tempo então os modelos que são difeomorfos também o são.

“Gauge Theorem: If $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ is a model of a local spacetime theory and h is a diffeomorphism from M onto M , then the carried along tuple $\langle M, h^*O_1, \dots, h^*O_n \rangle$ is also a model of the theory.”¹⁷

Esta formulação unida à explicação do que são Teorias do Espaço-tempo Local para Earman & Norton [1987] fornecem toda informação para compor a premissa 1, apresentada por Rynasiewicz. Se temos dois modelos de uma teoria que tem modelos da forma $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ esses modelos serão relacionados por difeomorfismo, ou seja, terão a mesma estrutura $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ e concordarão com relação à variedade, embora não sejam o mesmo modelo.

Rynasiewicz se esforça em enfatizar que este é um quase teorema, pois o resultado falha se para cada modelo da teoria todo difeomorfismo é um automorfismo, ou seja, um isomorfismo da variedade diferencial consigo mesma, por isso é importante dizer que os modelos discordam quanto a tudo quanto não seja a sua estrutura ou a variedade. Esta premissa é trivial em modelos relativísticos, porém existe a possibilidade de anomalias para as quais ela não vale, são os chamados automorfismos¹⁸. Anômalas pois automorfismos levam consigo a ideia de simetria, o que não é o caso em modelos relativísticos (referentes à Teoria da Relatividade)¹⁹. Se desconsiderarmos essa possibilidade, como fazem Earman & Norton, a afirmação contida na premissa pode ser entendida como um teorema²⁰.

É importante entender ainda o motivo de os autores tratarem apenas de “Teorias do

¹⁷ Earman & Norton [1987] p. 520

¹⁸ Automorfismo é um isomorfismo da variedade ou modelos sobre si mesmo.

¹⁹ Não tratarei aqui das questões de simetria e automorfismo pois seu desenvolvimento não é relevante para o tema em questão. São apresentados na forma de uma ressalva.

²⁰ Como não é algo que se tenha conseguido provar ou demonstrar e também não apresenta maiores implicações para a questão essa possibilidade é normalmente deixada de lado pelos autores com os quais trabalho.

Espaço-tempo Local”. Earman & Norton [1987] textualmente desconsideram teorias de abrangência global, como é o caso, segundo os autores, de teorias do espaço-tempo derivadas do espaço e tempo de Newton. Embora alertem que, com um pouco mais de dificuldade, pode-se apresentar problemas para o substantivismo também nessas teorias, não se vê diretamente como isto seria possível.

“Nós consideramos apenas teorias do espaço-tempo local. A principal instância de tal classe de teorias é nossa melhor teoria do espaço e do tempo, Relatividade Geral. Todas as formulações conhecidas da Relatividade Geral são teorias do espaço-tempo local, ou formulações que se reduzem a tal”²¹

São teorias que tratam do espaço-tempo entendido localmente, ou seja, compreendem apenas uma região do espaço-tempo e suas proximidades, sem realizar aceções sobre o universo como um todo. Variações do substantivismo que se desenvolvam em teorias do espaço-tempo local irão propor a existência do espaço-tempo como substância com base em evidências e resultados advindos da física local, não de aceções globais. O que não significa que as conclusões tiradas a partir dessas evidências e resultados (equações e formulações teóricas) não possam ser estendidas para concepções globais do espaço-tempo.

Os autores afirmam ainda que o trabalho com a cosmologia (leia-se global) sempre foi mais arriscado que o trabalho com a física local, o que não acontece apenas em filosofia da física, mas em qualquer ramo da ciência ou filosofia, quanto maior a abrangência, menor a precisão²². Segundo Earman & Norton, a parte mais fraca de uma teoria física são suas formulações cosmológicas a nível global. Segundo os autores, físicos e filósofos da ciência aprenderam a suas próprias custas que é melhor fazer física local para depois partir para uma cosmologia, do que proceder de forma inversa. A apresentação da teoria como uma teoria local do espaço-tempo respeita esse cuidado, determina-se todos os campos da Variedade por equações de campo locais, evitando estipulações globais apressadas ou desnecessárias, e ainda assim se admite a possibilidade de topologias globais.

Essas razões não são tão fortes quanto a que apresentarei em seguida, que na verdade já está presente implicitamente na forma como se formula a questão, mas são razões que dizem respeito ao método de trabalho dos autores ora analisados, e acredito que em um terreno pantanoso como o debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, as teorias podem estar subordinadas

²¹ Earman & Norton [1987] p. 522.

²² Para uma melhor compreensão sobre abrangência e precisão consultar [Aquino, 1962]

em grande medida ao método de trabalho de quem as formula, por isso convém mencionar tais razões, mesmo que não tenham muito valor explicativo quanto à argumentação dos autores acerca do tema principal. O que esses autores pretendem, quais seus objetivos? Porque fazem essas perguntas e não outras? São questões importantes para a discussão no longo prazo, embora não digam respeito, diretamente, ao tema aqui pesquisado.

A razão principal para se preferir trabalhar com teorias do espaço-tempo local, ao invés daquelas que focam em aceções globais, é que sendo a questão generalizável, é perfeitamente possível e seguro começar do local, replicando os resultados para âmbito global, enquanto o contrário, aceções globais replicadas localmente, não seria possível. Na verdade é não apenas possível como desejável, uma vez que as variedades não apresentam singularidades que impeçam os resultados encontrados nessas de serem replicados em qualquer outra variedade, eu as chamaria, nesse sentido, de variedades genéricas, podemos reinterpretar qualquer variedade nos moldes aqui propostos, por meio de pares de modelos da forma $\langle M, O_1, O_2 \dots O_n \rangle$, os Leibniz Shifted Models, apresentados na primeira premissa do argumento, passando assim do local para o global.

A forma das teorias do espaço-tempo local

Primeiramente é necessário apresentar a forma das teorias do espaço-tempo local, com as quais Earman & Norton [1987] se comprometem a trabalhar. Os autores se comprometem a chamar de teoria do espaço-tempo local uma teoria que tiver modelos na forma descrita abaixo, e satisfizer uma condição complementar.

"Estas teorias postulam variedades diferenciais nas quais objetos geométricos são definidos para cada ponto. Um modelo de uma dessas teorias sempre será uma $n+1$ upla $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$. M é a variedade diferencial com toda a estrutura intrínseca usual e O_1, \dots, O_n são n objetos geométricos, definidos em toda M , para algum número inteiro positivo n ."²³

Os modelos do tipo de teoria em questão terão definidos um objeto geométrico para cada ponto, cobrindo (ou compondo, a depender da interpretação, se substantivismo ou relacionismo) toda a Variedade e estes objetos são definidos um para cada número inteiro diferente, como forma de distingui-los. Apenas para fins de compreensão, poderíamos supor uma variedade na qual foram definidos objetos geométricos para quatro pontos. Sendo isto possível, teríamos um modelo da

²³ Earman & Norton [1987], pg. 517.

teoria que postula tal Variedade, com tais pontos definidos, na forma $\langle \mathbf{M}, \mathbf{O1}, \mathbf{O2}, \mathbf{O3}, \mathbf{O4} \rangle$.

Tais modelos, segundo Earman & Norton [1987], satisfazem um grupo de equações de campo, sendo que tal grupo de equações de campo é apenas o desaparecimento (vanishing) do subconjunto dos objetos definidos, ou seja, os objetos previamente definidos darão lugar a objetos que podem ser construídos a partir deles. O que, segundo os autores, significa que para algum número inteiro positivo k menor ou igual a n , as equações de campo são:

$$\mathbf{O}_k = \mathbf{0}, \mathbf{O}_{k+1} = \mathbf{0}, \dots, \mathbf{O}_n = \mathbf{0}$$

Norton [1999] complementa o Argumento do Buraco afirmando ainda, para garantir a adequação/correção do formalismo físico e a estabilidade da variedade da qual tratamos, que é exigido que cada um dos objetos nas equações de campo seja um tensor^{24 25}, por terem estes uma mesma intensidade, direção e sentido. Dessa forma ficam automaticamente vetadas as objeções que levantem a hipótese que de objetos diferentes se comportariam de outras maneiras levando a resultados diferentes e a descrição da variedade fica completa, definindo-se qual o objeto cosmológico do qual se trata nessas equações.

Como já dito acima, se estivermos de posse de alguns objetos definidos é possível construir outros a partir desses, acrescentando um número inteiro referente ao ponto seguinte, Earman & Norton [1987] afirmam esperar que esta seja uma afirmação aceita sem grandes problemas, por ser, de acordo com eles, um procedimento convencional. Se tenho \mathbf{O}_k definido, sendo \mathbf{O}_k um objeto geométrico definido para um inteiro menor ou igual a n , acrescentamos $+1$ e assim construímos um outro objeto a partir dele, dessa forma povoamos todo o espaço-tempo com objetos geométricos. Segundo os Earman & Norton [1987], esta prescrição é suficientemente geral para incluir versões de qualquer teoria que nos interesse.

Exemplo

Para demonstrar que é este o caso, os autores utilizam modelos de teorias eletrodinâmicas

²⁴ Na relatividade geral, usa-se a palavra “tensor” para o que seria mais corretamente chamado de campo tensorial; uma generalização de campo vetorial, em que, a cada ponto, temos não um vetor mas um tensor.

²⁵ Em geometria analítica, um vetor espacial, ou simplesmente vetor, é uma classe de elementos geométricos, denominados *segmentos de reta orientados*, que possuem todos mesma intensidade (denominada norma ou módulo), mesma direção e mesmo sentido.

relativistas especiais (restritas), como exemplo, mostrando que tais modelos se encaixam no critério acima exposto, tais teorias têm modelos da forma:

$$\langle M, g_{ab}, D_a, F_{ab}, j_a, D_{agbc}, R_{abcd}, D[aFbc], DaFac-jc \rangle$$

" g_{ab} é um tensor métrico²⁶ de Assinatura Lorentz, D_a um operador derivativo, F_{ab} o tensor de campo de Maxwell, j_a é o fluxo de carga e R_{abcd} o tensor de curvatura da métrica g_{ab} . Por esta versão da teoria, as equações de campo são o desaparecimento de O_5 até O_8 . O desaparecimento de O_5 adapta o operador derivativo à métrica e o desaparecimento de O_6 força G_{ab} para o plano. As duas últimas equações são equações de Maxwell."²⁷

O modelo ora exposto não é relevante para o argumento, Earman & Norton [1987] o utilizam apenas para mostrar como um modelo que realmente faz parte de uma teoria se encaixa na forma proposta por eles.

Condição Complementar: Se uma teoria do espaço-tempo tem modelos na forma

$\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ o qual satisfaz as equações de campo

$$O_k = 0, O_{k+1} = 0, \dots, O_n = 0$$

Então qualquer $n+1$ upla desta forma que satisfaz as equações de campo é um modelo da teoria. Em outras palavras, qualquer variação da mesma forma, se $\langle M, O_1, O_2, O_3 \rangle$ é um modelo da teoria, então $\langle M', O_1', O_2', O_3' \rangle$ também é um modelo da teoria.

A Relatividade Geral satisfaz a Condição Complementar

A importância do Argumento do Buraco de Earman & Norton seria muito reduzida se eles não pudessem conectá-lo com nossa melhor teoria do espaço-tempo, a Relatividade Geral, seria apenas um argumento acerca de teorias do espaço-tempo local, de maneira ampla, mas não falaria diretamente à teoria que utilizamos. Para garantir essa conexão os autores explicam que a Relatividade Geral tem modelos $\langle M, g_{ab}, R^a_{bcd} \rangle$, que satisfazem a estrutura $\langle M, O_1, O_2, \dots, O_n \rangle$, nos

²⁶ Em matemática, o tensor métrico é um tensor simétrico positivo-definido de ordem 2 que é usado para medir a distância em um espaço e também descrever a geometria desse espaço. Na Teoria da Relatividade Geral, o **tensor métrico** ou simplesmente **métrica**, transmite todas as informações sobre estrutura causal e geométrica do espaço-tempo. Usando a **métrica** pode-se definir noções como distâncias, volume, ângulos, passado, futuro e curvatura. Diferentemente do caso matemático, o tensor métrico da Relatividade não é positivo-definido, e corresponde ao que, em matemática, é chamado de pseudo-métrica.

²⁷ Earman & Norton, pg 517.

quais g_{ab} pode ser qualquer métrica de Minkowski definida na variedade M , a qual satisfaz a equação de campo $R^a{}_{bcd} = 0$, sendo por isso possível derivar outros objetos de $R^a{}_{bcd}$. Portanto, segundo Earman & Norton [1987], satisfaz a condição complementar.

A Variedade M representa o espaço-tempo

"Qual estrutura nas teorias do espaço-tempo representa o espaço-tempo? Isto é, acerca do que o substantivista acerca do espaço tempo tem uma posição substantivista? Nós vemos a Variedade M dos modelos como representando o espaço-tempo."²⁸

Uma pergunta importante que deveríamos nos fazer quando observamos os modelos da teoria é, qual estrutura nesse modelo representa o espaço-tempo? Earman & Norton acusam os defensores do substantivismo, com uma ressalva notável para Friedman [1983]²⁹, de evitar comprometer-se em especificar qual estrutura representa o espaço-tempo nos modelos da teoria, estrutura a qual propriedades substantivistas são atribuídas, ou seja, se pudéssemos retirar todos os objetos existentes no espaço-tempo, o que, ou qual estrutura, restaria? Esta é uma pergunta que, segundo os autores permanece sem resposta na maioria dos trabalhos acerca do substantivismo³⁰. Procurando não cometer o mesmo erro que seus adversários teóricos, Earman & Norton [1987] pretendem especificar qual estrutura, em sua abordagem, representa o espaço-tempo. A lembrança de Friedman tem mais uma função no texto, uma função metodológica e retórica, uma tentativa de mostrar que os autores não estão a criar um espantalho teórico, um substantivista hipotético ao qual seu argumento se aplicaria de forma que eles possam defender uma posição contrária à desse espantalho, mesmo que ninguém a defenda, Earman & Norton [1987] pretendem direcionar seu argumento contra os defensores da posição substantivista, na forma como esta realmente é defendida por outros autores. E dessa forma realizar um trabalho útil e não apenas um exercício teórico sem influência no debate. Esse foco em atingir seus oponentes teóricos, e o sucesso nele, é certamente um dos motivos que levou o Argumento do Buraco a ser debatido e levado em

²⁸ Earman & Norton [1987] p. 518.

²⁹ A posição de [Friedman, 1983] no sexto capítulo de seu artigo coincide com a posição assumida nessa seção por Norton/Earman, a saber, que a Variedade Vazia é a estrutura que representa o espaço-tempo, porém, como já observado, discordo quando ao estatuto ontológico dessa Variedade.

³⁰ É preciso notar que questão semelhante se coloca ao relacionismo quanto a qual relação seria primitiva no que diz respeito ao espaço-tempo. Embora a falta de resposta do relacionista não justifique um comportamento escuso do substantivismo quanto a qual estrutura representa o espaço-tempo a pergunta pela relação primitiva é um problema legítimo no relacionismo.

consideração por tanto tempo e tantos autores.

Segundo Earman & Norton [1987], segue-se naturalmente da formulação das teorias do espaço-tempo em termos de teorias locais do espaço-tempo a aceitação da *Variedade vazia* (bare manifold), representada pelo símbolo M nos modelos da teoria, sem nenhuma outra estrutura sendo considerada junto com a variedade (abstraindo-se dos objetos presentes no modelo), como a estrutura que representa o espaço-tempo. Para os autores, como consideram toda estrutura geométrica ou objeto geométrico³¹ presente no espaço-tempo como campos determinados por equações de campo parciais, aquelas que descrevem fenômenos físicos dependentes da posição, é preciso supor um *container* (recipiente), algo em que esses campos sejam distribuídos, funcionando como uma base ou recipiente, para que se possa formular os sistemas de referencia. Se recordarmos a estrutura básica dos modelos das teorias do espaço-tempo local trabalhadas por estes autores, $\langle M, O_1, O_2 \dots O_n \rangle$, veremos que a variedade M é a única estrutura que pode ser entendida como o container desses campos, por isso ela é identificada pelos autores como representando o espaço-tempo. Considerando esta estrutura de modelo, sejamos relacionistas ou substantivistas a Variedade vazia é a única estrutura que pode ser entendida como o recipiente dos campos. Isso acontece porque, uma vez que os objetos precisam estar contidos em algo, por serem dependentes da posição, como afirmei acima, não é possível que um deles seja o recipiente. Se ocorresse de um dos objetos ser o recipiente dependeria de uma posição nele mesmo, o que não pode ser o caso pela própria descrição dos modelos.

Naturalismo e abrangência do argumento

De modo geral, a importância da premissa (1) está, em grande medida, na ênfase que alguns autores, nesse caso Earman & Norton [1987], alegam conceder ao respeito pelos resultados das ciências naturais. Em sua análise, alguém disposto a se utilizar de outra teoria ou formulação, incompatível a Relatividade Geral, para salvar o substantivismo, ou qualquer outra posição no debate, teria de oferecer uma teoria que fosse tão boa quanto a atual e ainda trouxesse melhorias em nosso poder preditivo, nossa capacidade de prever e explicar eventos em nosso universo, não propiciadas pela atual. É com base nessa ênfase que podem afirmar que o determinismo só pode falhar por uma causa física e não pela aceitação de uma posição ontológica qualquer. Se, por exemplo, o substantivismo nos levar a conclusões incompatíveis com a Teoria da Relatividade Geral, é o substantivismo que deve ser abandonado e não a Teoria da Relatividade Geral. Por isso é

³¹ Conforme Earman & Norton [1987], p. 518.

de grande importância entender o que o conhecimento da física nos informa das teorias do espaço-tempo local consideradas no Argumento do Buraco.

Esta premissa estabelece também a abrangência do argumento, no que diz respeito ao tipo de teoria do espaço-tempo considerada pelos autores. Em resumo, o argumento de Earman & Norton se aplica a toda Teoria do Espaço-tempo Local que tem modelos da forma $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ que se relacionam por terem a mesma estrutura, difeomorfos, embora discordem sobre os outros fatores constituintes do modelo, como, por exemplo, as coordenadas a partir das quais são definidos, os pontos correspondentes aos objetos definidos para inteiros e a quantidade desses pontos, de tal forma que se um modelo $\langle M, O_1, O_2, \dots, O_n \rangle$ é modelo da teoria, qualquer estrutura difeomorfa $\langle M', O_1', O_2', \dots, O_n' \rangle$ desse modelo também é um modelo da teoria, esses modelos relacionados por difeomorfismo são chamados de Leibniz Shifted Models.

Indeterminismo, a segunda premissa

Ainda no argumento principal, aparece no texto de Rynasiewicz [1996] a segunda premissa do Argumento do Buraco.

(2) *“Uma teoria é indeterminista apenas no caso de admitir situações físicas distintas como idênticas sob o mesmo tempo dado.”*

Esta premissa pretende demonstrar o que Earman & Norton [1987] entendem por indeterminismo, em termos de “situações físicas possíveis”. Uma teoria indeterminista é uma teoria que considera serem duas situações físicas idênticas quando estas na verdade são distintas e por este erro é incapaz de determinar a realidade. Nessa descrição é deixado de lado, ao menos em uma primeira análise, a possibilidade de indeterminismo ontológico/metafísico, pois tratam-se aqui de teorias indeterministas e não da possibilidade da própria realidade ser indeterminista. É claro que se essas teorias indeterministas estiverem corretas em sua descrição da realidade teremos indeterminismo ontológico, do contrário teremos apenas indeterminismo metodológico ou, como Earman & Norton [1987] se referem a esta possibilidade, indeterminismo do modelo matemático. Mas no caso dessa premissa os autores se atêm ao tipo de teoria que seria indeterminista e não a suas consequências.

Earman & Norton [1987] entendem estas duas premissas sob a luz do que chamaram Equivalência de Leibniz. Mas importante é notar de saída que o tipo de teoria apresentada na

segunda premissa exige a negação da Equivalência de Leibniz, afinal os autores pretendem aqui falar de casos de indeterminismo, e não de determinismo, que seria gerado pela Equivalência.

“Equivalência de Leibniz: Modelos Difeomorfos representam a mesma situação física”³².

A Equivalência de Leibniz é, segundo Rynasiewicz [1994] e Pooley [2003], uma releitura da Correspondência Leibniz/Clarke, no âmbito do argumento de Earman & Norton, segundo a qual modelos difeomorfos representam sempre a mesma situação física, de forma que as teorias formuladas de acordo com a Equivalência de Leibniz serão consideradas teorias deterministas. Podemos dizer que essa premissa é uma variação da Identidade dos Indiscerníveis aplicada a modelos teóricos difeomorfos, ou seja, pelo jargão aqui utilizados, modelos teóricos referentes a recortes no espaço-tempo que possuem a mesma estrutura.

Na forma como Earman & Norton entendem a Equivalência de Leibniz, ela não admite exceções, pois quaisquer pares de Leibniz Shifted Models, apresentados na primeira premissa, representam a mesma situação física possível, a mesma realidade.

Quando unidas, as duas premissas apresentam uma proposta acerca da identificação de teses indeterministas, a saber, afirma que as teorias do espaço-tempo local serão indeterministas sempre que admitirmos que os modelos difeomorfos de tais teorias representam situações físicas possíveis distintas, sob o mesmo tempo dado.

Dessa forma, já temos condições de apresentar a conclusão do argumento principal da seguinte maneira:

Conclusão 1 – Qualquer teoria comprometida com a tese de que os Leibniz Shifted Models representam situações físicas distintas será indeterminista.

Esta é a primeira parte do Argumento do Buraco de Earman & Norton, a afirmação de um indeterminismo nas Teorias do Espaço-tempo Local, quando analisadas de uma determinada maneira, a saber, através da Negação da Equivalência de Leibniz.

Se admitirmos que os modelos difeomorfos representam a mesma situação física, admitindo a Equivalência de Leibniz, não teremos grandes problemas, na análise de Earman & Norton [1987], pois em alguns casos talvez não sejamos capazes de determinar, mas saberemos que

³² Earman & Norton [1987] p. 522.

o problema está nos nossos métodos, teorias ou instrumentos, mas não na realidade. Porém, não é este o caminho pelo qual o argumento dos autores segue, pois o objetivo deles é mostrar que o substantivismo está comprometido com o indeterminismo das teorias. Por isso, segundo Rynasiewicz [1996], a segunda parte do Argumento do Buraco trata de relacionar o substantivismo com a tese que força as teorias do espaço-tempo local ao indeterminismo, a saber, a tese de que os Leibniz Shifted Models representam situações físicas distintas, sob o mesmo tempo dado.

O argumento subsidiário, Substantivismo e a negação da Equivalência de Leibniz

"Um argumento subsidiário então busca associar o substantivismo com esta tese."³³

A segunda parte do Argumento do Buraco começa na seção “What is Spacetime Substantivalism?: The denial of Leibniz Equivalence”³⁴, cujo nome é bastante revelador. Já sabemos que a tese de que a Equivalência de Leibniz é falsa, ou, para nos mantermos próximos à forma como os autores a apresentam, a tese que nega a Equivalência de Leibniz, leva nossas teorias do espaço-tempo local ao indeterminismo. Agora me esforçarei em mostrar como Earman & Norton [1987] procuram vincular o substantivismo a esta tese.

O argumento subsidiário está baseado no que Rynasiewicz [1996] chamou Model Literalism, ou, premissa 3. Por “esta tese” entenda-se a tese apresentada na primeira parte do argumento, uma tese indeterminista sobre a relação entre os modelos teóricos e a situação física possível que eles representam, que nada mais é do que a negação da Equivalência de Leibniz.

É preciso notar ainda que, a premissa 3, se dividimos o Argumento do Buraco em dois argumentos menores, seria na verdade a segunda premissa do Argumento Subsidiário, sendo a primeira a conclusão do argumento principal.

Premissa 1 (Arg. Subsidiário) - Conclusão 1 (Arg. Principal) – Qualquer teoria comprometida com a tese de que os Leibniz Shifted Models representam situações físicas distintas será indeterminista.

³³ Rynasiewicz [1994] p. 408.

³⁴ Earman & Norton [1987] p. 521.

Assim, a terceira premissa é formulada como segue:

*(3) (Premissa 2 do Arg. Subsidiário) (Premissa 3 do Arg. Do Buraco)
“Substantivismo está comprometido com a tese de que modelos distintos
representam situações físicas distintas. (Chamemos esta tese de Model
Literalism).”*

A premissa (3) estabelece o que Rynasiewicz [1996] chamou “Model Literalism”(Literalismo dos Modelos da teoria), pelo que substantivismo estaria comprometido com a aceitação de que distintos modelos das teorias do espaço-tempo local representam situações físicas distintas, mesmo quando estes modelos são difeomorfos, ou em outras palavras, os modelos são literais, cada modelo representa literalmente uma situação física e não pode ser interpretado como um contra facto, uma reinterpretação, da mesma situação física da qual trata outro modelo da teoria. O que segundo Earman & Norton cumpre as exigências da premissa (2), para se classificar uma teoria como indeterminista. Como a teoria possui vários modelos, conforme premissa (1), e o Model Literalism interpreta cada modelo difeomorfo como representando uma situação física diferente, o Model Literalism é a negação da Equivalência de Leibniz.

Fica razoavelmente claro que o substantivismo está comprometido com o Model Literalism quando pensamos que o entre o constructo matemático-topológico espaço-temporal³⁵ e o espaço-tempo por si mesmo, proposto pelo substantivista como substância, não se encontra diferença observacional qualquer, não pode ser verificada a existência de duas situações físicas ao mesmo tempo, e ainda assim, segundo Earman & Norton [1987], o substantivista assume que esses dois modelos representam situações físicas distintas, não apenas possíveis, mas reais. Para demonstrar que é o caso que o substantivismo está comprometido com o Model Literalism, os autores submetem a doutrina da substancia ao Leibniz Acid Test³⁶, que como o nome sugere tem origem nos escritos de Leibniz.

*“Se tudo no mundo fosse refletido do leste para o oeste (ou melhor,
transportado/transformado três pé para o Leste) mantendo todas as
relações entre os corpos, nós teríamos um mundo diferente?”³⁷*

³⁵ Chamo constructo matemático-topológico espaço-temporal o conjunto das relações espaço-temporais observáveis.

³⁶ Termo utilizado por Earman & Norton [1987] p. 522.

³⁷ Earman & Norton [1987] p. 522.

O substantivista terá de dizer que sim, embora o relacionista possa dizer, assertivamente, que todas as relações tenham se mantido, não havendo portanto qualquer diferença tanto para a observação quanto para efeito de predição de eventos, o substantivismo está comprometido com a ideia de que esses três pés que o mundo se moveu são três pés em relação à substância espaço-tempo. O constructo matemático-topológico espaço-temporal, aquele conjunto de relações que utilizamos cotidianamente, como “y está a três metros de x”, se mantém inalterado, y ainda está a três metros de x, mas, para o substantivista, este constructo já não está na mesma posição no espaço-tempo substantivo, em outras palavras, a relação “y está a três metros de x” acontece em outro lugar. A relação se mantém inalterada, mas a posição mudou, por isso do ponto de vista dos defensores da doutrina substantivista, todos os corpos no mundo estão em posições espaciais distintas em relação à entidade substantiva espaço-tempo. Conclui-se portanto que que temos um mundo diferente. Para colocarmos essas afirmações no jargão que aqui utilizamos, um modelo que anteriormente ao experimento representava determinada relação, não é equivalente ao mesmo modelo após o experimento, ou seja, o modelo que expressava as relações entre a variedade e os objetos nela presentes, $\langle M, O_1, O_2 \dots O_n \rangle$, representa uma situação física diferente do modelo que agora representa as mesmas relações, $\langle M', O_1', O_2' \dots O_n' \rangle$, pois não guarda a mesma relação com o espaço-tempo que seu predecessor.

Do ponto de vista de Earman & Norton [1987], isso significa dizer que os substantivistas consideram modelos difeomorfos como distintos, sem que haja qualquer evidência observacional. Sendo esta justamente a tese apresentada na primeira parte do argumento, somos forçados a dizer, como querem Earman & Norton, que o substantivismo está comprometido com o Model Literalism, que é uma negação da Equivalência de Leibniz, e portanto, que o substantivismo está comprometido com o indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local. Assim a conclusão do Argumento Subsidiário é como segue:

Conclusão 2 – Substantivismo é uma tese indeterminista; automaticamente decide em favor do indeterminismo.

Dilemas para o Substantivista

Embora esta formulação seja suficiente para entender a forma do argumento e seu funcionamento não é evidente, até aqui, a problemática consequência que o argumento tem para a física, consequência esta que Earman & Norton [1987] chamaram de Indeterminismo Radical Local. Para evidenciar esta consequência, teremos de explorar mais profundamente o comprometimento do substantivista com a negação da Equivalência de Leibniz. E o faremos através dos dilemas propostos por Earman & Norton.

Earman & Norton não formulam a questão em termos de premissas e sub-argumentos, como estou apresentando aqui ao utilizar-me da análise de Rynasiewicz [1994] [1996], mas em uma forma expositiva que consideram mais eficiente, no sentido de convencer seus opositores, a forma de dilemas. Após apresentar sua formulação das teorias do espaço-tempo local e sua noção de substantivismo, baseada na Equivalência de Leibniz, os autores apresentam dois dilemas ao substantivista. Primeiro apresentam o Dilema Verificacionista, que leva o substantivista a decidir entre sua posição e a possibilidade de verificação, em palavras mais próximas à formulação dos autores, aparece quando Earman & Norton levam o substantivista a decidir entre negar seu substantivismo ou aceitar que sua posição postula estados distintos de coisas sem que se possa apresentar nenhuma evidência observacional que distinga entre estes estados, os autores admitem que devido ao “falecimento”³⁸ do critério de verificação³⁹ não é difícil para o substantivista decidir por manter seu substantivismo, pagando o “preço” exigido.

A afirmação de Rynasiewicz [1996], abaixo, nos dá uma visão um pouco mais clara das motivações para essa aceitação:

"Anteriormente, nesse século, o substantivismo era comumente visto como uma imposição metafísica gratuita na teoria física – 'uma superestrutura místico filosófica', como Reichenbach colocava. Mas com o declínio do positivismo e a emergência do realismo científico, espaço e tempo (ou espaço-tempo) passaram a ser vistos como não mais suspeitos em princípio que qualquer outra entidade 'teórica'."^{40 41}

³⁸ Earman & Norton [1987] p. 516. Leia-se “abandono”, pois cientistas e filósofos, incluindo aqueles que o desenvolveram, abandonaram tal critério devido aos problemas que seu uso poderia trazer para o desenvolvimento do conhecimento em geral.

³⁹ Conforme Earman & Norton [1987] p. 515.

⁴⁰ Rynasiewicz[1994], página 407.

⁴¹ Quando Rynasiewicz diz "neste século" (in this century), ele refere-se ao século XX, pois o texto foi publicado no ano de 1996.

Dilema Verificacionista

Segundo Rynasiewicz [1996] o movimento da premissa (2) para a premissa (3) (*Model Literalism*) é o ponto principal do *Argumento do Buraco* de Earman & Norton. Visa mostrar como o substantivista nega a Equivalência de Leibniz, estabelecida a premissa 2 do argumento principal, e dessa negação se segue uma consequência problemática, ou ao menos indesejada, um dilema ao qual chamaram Dilema Verificacionista, que tem por função demonstrar como o substantivista se compromete com o *Model Literalism*.

Para Earman & Norton [1987] é suficiente para mostrarmos o comprometimento do substantivista com o *Model Literalism*, que lembremos que as posições espaçotemporais por si só não são observáveis, pois consideram que isto é algo óbvio. O que é observável é o subconjunto das relações entre as estruturas definidas em uma Variedade e não as posições na própria variedade.

Ainda segundo os autores⁴² não observamos um corpo “estando na posição x”, o que nós observamos é a relação desse corpo com uma régua na qual existe uma marcação y, a régua pode ser aqui entendida como qualquer sistema de referência, portanto, observamos a relação desse corpo com um ponto definido arbitrariamente ou um outro corpo em um sistema de referência. Para tomar um exemplo mais fácil de visualizar, quando estamos na lua, não observamos as pessoas em determinada posição no espaço-tempo, observamos as pessoas na Terra em tais e tais coordenadas, o sistema de referência utilizado para estabelecer as coordenadas é nossa régua, podemos descrever a posição das pessoas em relação a um objeto fixo, como uma montanha ou uma cratera, ou a um ponto arbitrário que estipulamos, sem correspondência física, como, por exemplo, o cruzamento de algum meridiano com o trópico de capricórnio.

Nas palavras de Earman & Norton, “mantêm-se inalterados observáveis sob difeomorfismo”⁴³. Sendo difeomorfos os modelos são observacionalmente indiscerníveis, ou seja, podem ser convertidos um no outro sem perda ou vantagem observacional. Quando olhamos algo em determinadas coordenadas não o vemos “em determinadas coordenadas” e “ocupando uma posição no espaço-tempo” como se houvessem duas realidades ali presentes, vemos apenas uma realidade, sendo as duas interpretações intercambiáveis. Dispostos a aceitar o risco de uma inflação ontológica desnecessária, substantivistas defenderão que o fato de não termos evidência observacional de algo não implica necessariamente sua inexistência. Então, baseados nessas

⁴² Earman & Norton [1987] p. 522.

⁴³ Earman & Norton [1987] p. 522.

afirmações e no Leibniz Acid Test, apresentado na explicação da premissa (3), Earman & Norton afirmam que os substantivistas devem escolher entre negar a Equivalência de Leibniz ou abandonar seu substantivismo.

“Isto é, eles devem

(a) Aceitar que há estados de coisas distintos⁴⁴ os quais são observacionalmente indiscerníveis, ou

(b) negar seu substantivismo”⁴⁵

Caso neste ponto o substantivista esteja convencido a aceitar (b), esta discussão será findada, tendo Earman & Norton atingido seu propósito, convencer o substantivista a abandonar seu substantivismo. No entanto, o que segundo Earman & Norton [1987] é mais provável, é que o substantivista opte por aceitar (a), e isto o comprometerá com o Model Literalism, apresentado anteriormente. Dessa forma, o substantivista irá comprometer-se com a tese de que modelos distintos representam situações físicas distintas, uma vez que aceitar (a) significa assumir que o modelo que descreve o mundo antes da transformação dos três pés e o modelo que descreve o mundo depois da transformação dos três pés, representam situações físicas distintas (estados de coisas distintos), o que é observacionalmente indetectável e não faz diferença do ponto de vista da predição, uma vez que todas as relações se mantêm inalteradas, sendo portanto também indetectável por seus efeitos.

Nas bases aqui estabelecidas, comprometer-se com o Model Literalism trará um “preço” muito alto a pagar, a saber, aceitar uma forma radical de indeterminismo nas teorias do espaço-tempo local, o Indeterminismo Radical Local.

Manter o substantivismo no Dilema Verificacionista pode não parecer um grande problema, uma vez que isto só nos compromete com o exposto na opção (a) e atualmente não é surpresa que muitos autores estejam dispostos a admitir estados distintos de coisas sem evidência observacional, afinal, não há impedimento para a existência de entidades que não possamos detectar. O problema não é aceitar esta possibilidade, o problema é que, considerando o aqui exposto e a forma das teorias do espaço-tempo local aqui apresentadas, essa opção por uma posição aparentemente inocente levará o substantivista a um outro dilema, o Dilema Indeterminista, que obriga o substantivista a decidir entre sua posição substantivista e o Indeterminismo Radical Local.

⁴⁴ Nem Earman & Norton [1987], nem Norton [1992, 1999, 1999b], Earman [1987, 1989] ou qualquer outro autor envolvido no debate, dentre aqueles aqui estudados, fazem distinção entre estados de coisas e situações físicas, usando-os em diversos momentos de seus textos como sinônimos. Obviamente fica aberta a possibilidade de que outros autores façam distinção entre essas duas expressões, mas no contexto aqui apresentado não há razão para nos ocuparmos em distingui-los.

⁴⁵ Earman & Norton [1987] p. 522.

Dilema Indeterminista

Nesse ponto já estão introduzidos todos os itens prévios necessários para a compreensão do chamado Dilema do Indeterminismo Radical Local, ou Dilema Indeterminista, de forma que cabe explicar do que se trata.

"Dada uma região delimitada do espaço tempo nós veremos que estas teorias não podem univocamente determinar os campos contidos na região mesmo pela mais exhaustiva prescrição dos campos fora dela. Isto é verdade não importa quão pequena seja a região delimitada" ⁴⁶

Earman & Norton [1987] propõem o seguinte cenário:

Dada uma Variedade M e uma região delimitada H (de *Hole*⁴⁷) nesta Variedade, teremos *Leibniz Shifted Models*, conforme a primeira premissa do Argumento do Buraco, ou seja, haverá diversos modelos difeomorfos que diferem entre si apenas com relação a H ⁴⁸, e que, segundo a Equivalência de Leibniz representam a mesma situação física. Podemos dizer, nessas condições, que equações válidas para um modelo o são para todos os modelos difeomorfos, pois se eles representam a mesma situação física a Covariância Geral funciona para todos eles, de forma que não precisamos nos perguntar sobre a correção das equações, ou a necessidade de leis diferentes caso o modelo que realmente se verificaria, caso fosse possível verificar, fosse esse ou aquele, todos os modelos se mostrariam equivalentes e a situação física que representam seria observacionalmente única.

Isso atende as exigências de Earman & Norton [1987] para que consideremos a descrição acima exposta como parte de uma teoria determinista, mas mais do que isso, garante determinismo no mundo, só há uma situação física real, independente de qual das possibilidades seja a correta, não há indeterminismo ontológico/metafísico. A questão que sobra é apenas se podemos verificar o conteúdo de H , ou seja, se podemos descrever qual situação física possível os

⁴⁶ Earman & Norton [1987] p. 516

⁴⁷ Uma região na qual a matéria pode ser redistribuída em um tempo dado de maneira que seja possível a esta região comportar mais de um modelo da teoria.

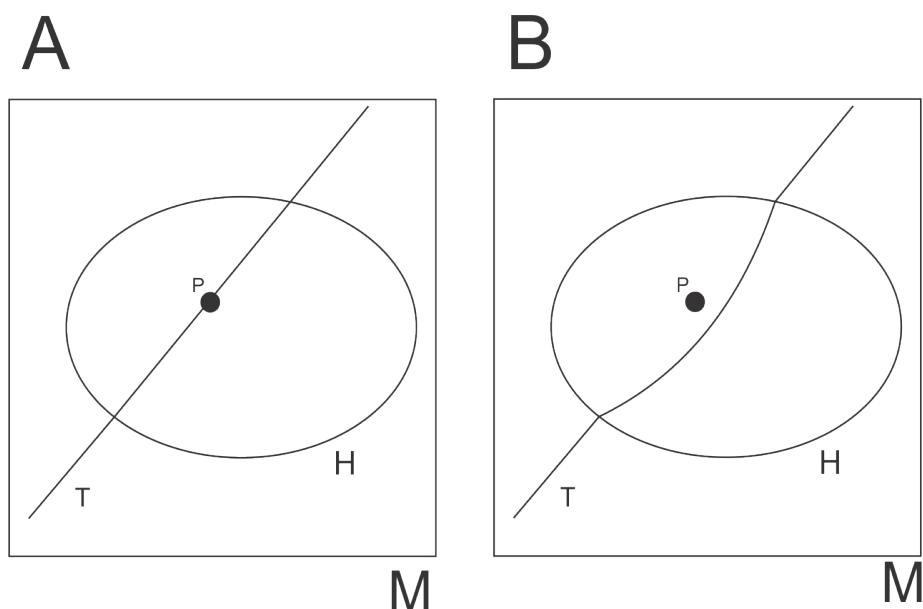
⁴⁸ Em H pode haver variação na métrica entre, pelo menos g e g' , de forma a adicionar um elemento desconhecido, exigindo assim que o conteúdo de H fosse determinado pelo exterior de H .

modelos representam, o que Earman & Norton chamam indeterminismo do modelo matemático, uma forma meramente metodológica de indeterminismo. De maneira resumida, apenas é indeterminado qual realidade os modelos representam, mas seja qual for teremos apenas uma realidade/situação física atual (actual⁴⁹).

Ao apresentarmos a questão dessa forma, não parece haver grandes problemas. E de fato, dessa forma, não há, o problema surge quando, nas condições acima apresentadas, negamos a Equivalência de Leibniz. Nesse caso a Covariância Geral não pode ser corretamente aplicada para esses modelos, gerando indeterminismo quanto à extensão da teoria que trata dos modelos que diferem com relação a H, pois os modelos serão considerados como representando situações físicas distintas (realidades distintas) e a Covariância Geral só pode ser aplicada na mesma situação física, em outras palavras, o substantivista terá de admitir, ao negar a Equivalência de Leibniz, que cada modelo representa uma situação física diferente, gerando assim indeterminismo no próprio mundo e não apenas uma impossibilidade de verificação como vemos naqueles que aceitam a Equivalência de Leibniz, mas a afirmação de que há ali, naquela região delimitada, por isso local, duas realidades distintas sob o mesmo tempo dado, por isso impossível determinar univocamente. Dessa forma indeterminismo local.

Como o substantivista se comprometeu, ao responder ao Dilema Verificacionista, com a negação da Equivalência de Leibniz não poderá usá-la aqui para garantir o determinismo da realidade, portanto terá de assumir que a aplicação da Covariância Geral falha, de forma que as teorias não são capazes de determinar o conteúdo de H, com base no que há fora de H, por que o próprio conteúdo de H é indeterminado, havendo pelo menos duas situações físicas atuais ao mesmo tempo dado. A essa possibilidade de a realidade ser indeterminista Earman & Norton [1987] chamam Indeterminismo Radical Local e fica mais evidente quando incluímos um tensor no cenário imaginado por Earman & Norton [1987] para formular o dilema, pois segundo Norton [1992] a métrica determina as trajetórias inerciais e, como a métrica pode variar dentro de H, o trajeto do tensor pode ser alterado quando ele passa por H, de forma que temos um exemplo de duas situações físicas possíveis diferentes, em que os modelos diferem apenas com relação ao conteúdo de H, mas concordam sobre todo o resto, o que é exterior a H.

⁴⁹ O sentido de atual (actual) nesse caso não é relativo a tempo, mas a confirmação na realidade, aquela possibilidade que de fato é o caso e não uma mera possibilidade.



Havendo uma partícula T que atravessa H, como se estivesse em queda livre, e cuja trajetória, em um modelo A, é descrita como passando pelo ponto P, e em um modelo B é descrita como não passando pelo ponto P, o substantivista terá de admitir que A e B representam situações físicas diferentes. E como está comprometido com o Model Literalism, terá que admitir que não é possível determinar, mesmo com a mais minuciosa investigação da região em torno de H, se T passa ou não passa por P, pois na verdade a situação física em que T passa por P e a situação física em que T não passa por P são reais sob o mesmo tempo dado, ocupando o mesmo espaço dado, uma vez que o substantivista admite que os modelos representam situações físicas diferentes, conforme Model Literalism, e admite a existência de duas situações físicas sob o mesmo tempo e espaço dados sem evidência observacional, conforme sua resposta ao Dilema Verificacionista.

Para simplificar, podemos imaginar um maquinista, que leva um trem em direção a uma região de neblina. O maquinista possui dois mapas da mesma ferrovia, que concordam em tudo, exceto sobre a região onde há neblina. No mapa A o trilho faz uma curva, e no mapa B o trilho não faz a curva. Não importa quão minuciosos os mapas sejam acerca do restante dos trilhos, o maquinista jamais conseguirá, a partir disso, concluir qual dos mapas é o correto.

A posição do substantivista o leva a responder, vinculando o exemplo do trem com o Argumento do Buraco, que ambos os mapas são corretos, uma vez que são modelos literais da realidade, sendo a própria realidade indeterminada.

Nesse caso, o indeterminismo estaria no mundo, indeterminismo ontológico/metafísico, não sendo apenas um indeterminismo metodológico, ou indeterminismo do modelo matemático, que está presente somente na teoria. Dessa forma, somos incapazes de decidir entre dois modelos distintos, pois o indeterminismo não é apenas uma deficiência de nossas teorias e métodos, mas sim

uma condição da realidade. Nesse caso, somos obrigados a dizer que há de fato duas situações físicas reais e não apenas duas situações físicas possíveis. O poder de predição de nossas teorias do espaço-tempo local é drasticamente reduzido, pois devido a esta condição da realidade, não importa que as refinemos, jamais serão capazes de determinar a realidade, já que, toda vez que for possível formular mais de um modelo as teorias do espaço-tempo, não haverá uma única realidade. Como o nome desta condição já nos informa, é uma condição *radical*.

O substantivista é forçado então a enfrentar um novo dilema:

(a) Aceitar o Indeterminismo Radical Local, ou

(b) negar seu substantivismo⁵⁰

Em outras palavras, ou aceitamos que nossas teorias do espaço-tempo estão erradas ao pressupor o determinismo na realidade (uma única situação física) e o poder de predição dessas é radicalmente mais reduzido do que supomos, ou aceitamos que o substantivismo está errado, devido a seu comprometimento com o Model Literalism, que reduz o poder de predição de nossas teorias. O substantivista deve agora escolher entre essas duas opções.

Resultados do Argumento do Buraco

De forma resumida, podemos afirmar que a Equivalência de Leibniz, associada a este plano de fundo apresentado pelas premissas do Argumento do Buraco, prescreve as condições sob as quais uma teoria do espaço-tempo local é classificável como indeterminista. O Model Literalism, na visão de Earman & Norton, atende a estas condições ao tentar afirmar o que os modelos de um teoria do espaço-tempo local realmente representam, a saber, que cada modelo representa uma situação física diferente, uma realidade diferente. Desta forma uma teoria comprometida com o Model Literalism só pode levar a uma forma radical de indeterminismo, o indeterminismo na própria realidade. Isto significa dizer que, se aceitamos que o Model Literalism é correto, precisamos aceitar que nossa realidade é em si mesma indeterminista, mesmo que tanto a formulação das teorias quanto sua aplicação jamais tenham oferecido indícios desse

⁵⁰ Earman & Norton [1987] p. 524.

indeterminismo. Se aceitamos o Model Literalism, deveremos fazer esta afirmação apenas baseados em nosso pressuposto ontológico substantivista, pois, como afirmam Earman & Norton [1987] as teorias do espaço-tempo local não corroboram essa afirmação do indeterminismo no mundo, outrossim afirmam apenas a possibilidade de não estarmos munidos do conhecimento de qual modelo realmente se aplica em cada caso.

É preciso ressaltar a preocupação dos referidos autores em afirmar terem consciência de que o determinismo pode falhar, que pode ser o caso de que estejamos todos nós (cientistas, filósofos, e nossas teorias) errados a respeito da realidade, ao pressupor o determinismo, mas, se este for o caso, isto deverá se mostrar por uma causa física. Sem evidências não podemos falsear nossa melhor teoria do espaço-tempo local, a Teoria da Relatividade, simplesmente para acomodar um pressuposto ontológico que não se exige nem pela experimentação, nem pela formulação das teorias, e além de não adicionar nenhum novo aspecto ao poder de predição de nossas teorias do espaço-tempo local, ainda reduz o poder de predição dessas mesmas teorias, por isso o substantivismo deve ser abandonado.

Considerações sobre os resultados do Argumento do Buraco

O Argumento do Buraco tem consequências graves para o substantivismo, caso seja aceito. Porém é preciso lembrar que o relacionismo também tem problemas a resolver, o que pode ser em parte o motivo pelo qual os autores não o assumem como verdadeiro imediatamente diante do que eles afirmam ser o fracasso do substantivismo apontado por seu argumento, mas colocam-se receosos quanto ao tipo de posição ontológica a ser afirmada, após o fracasso do substantivismo.

“We have not concluded here that spacetime is relational, since the literature contains so many conflicting usages of the term 'relationism'. Of course the conclusion is established if relationism is just the negation of substantivalism. But this presupposes far too crude a dichotomy—substantivalism versus relationism—from which discussion of these matters has suffered too long. Relationism is not established if it implies that all motion is the relative motion of bodies, *as Leibniz apparently held.*”⁵¹

⁵¹ “Nós não concluímos aqui que o espaço-tempo é relacional, pois a literatura contém muitos usos conflitantes do termo 'relacionismo'. Claro que a conclusão é estabelecida se relacionismo é apenas a negação do substantivismo. Mas isso pressupõe uma dicotomia muito bruta - substantivismo versus relacionismo - da qual a discussão dessas questões tem sofrido a muito tempo. Relacionismo não está estabelecido se implica que todo movimento é o movimento relativo dos corpos, como Leibniz aparentemente defende.” Earman & Norton [1987], p. 524, nota 2.

Como fica claro nesta passagem, Earman & Norton não consideram terem encerrado o debate, mesmo que o substantivismo seja inaceitável ainda existem muito tipos de relacionismo, e mesmo o relacionismo pode não ser o caso, sendo possível inclusive que precisemos de uma terceira formulação ainda não descoberta. A questão sobre movimento absoluto e movimento relativo não é tratada aqui pois não tem relação direta com o argumento, aparece no texto de Earman & Norton apenas como uma ressalva para que o leitor não extraia conclusões apressadas.

Mesmo assumindo que o Argumento do Buraco seja correto, um relacionista ainda precisaria formular seu relacionismo de forma consistente, levando em conta todos os pressupostos da Teoria da Relatividade de Einstein e da Teoria do Espaço-tempo de Minkowski se desejar defender sua posição quanto ao estatuto ontológico do espaço-tempo, caso contrário será necessário buscar outra alternativa⁵².

Implícito na conclusão de Earman & Norton [1987], parece estar a ideia de que a ciência em geral não pode estar subordinada a pressupostos ontológicos injustificáveis que reduzem o poder de predição das teorias, especialmente quando estes pressupostos levam a ciência no sentido contrário, não adicionando nenhum novo dado ou aspecto à ciência e reduzido a eficiência das teorias. Esses pressupostos ontológicos podem, em última instância, ser corretos, mas sem razões fortes não estamos autorizados a aderir a eles, sob o risco de, caso não sejam corretos, condenar boas teorias científicas simplesmente para acomodá-los, sem qualquer ganho para a ciência. O que demonstra um esforço muito maior do que simplesmente negar o substantivismo, demonstra antes a afirmação de uma posição em teoria da ciência, ou mesmo uma hipótese em teoria da ciência, muito mais ampla do que a questão aqui discutida, e que parece basear grande parte de seus trabalhos, o que parece ainda coincidir com uma afirmação forte do naturalismo, uma afirmação de *como se deve fazer* ciência.

Argumento três: da inaceitabilidade do substantivismo

Earman & Norton concluem, como afirmado acima, que o substantivismo deve ser abandonado, e alguém pode dizer que os autores provaram que o substantivismo é falso. Mas, para afastar essa possibilidade, eu gostaria de argumentar que os autores demonstraram apenas que o substantivismo é inaceitável, de forma que o Argumento do Buraco possui uma conclusão metodológica e não uma conclusão metafísica. Entendendo “aceitável” como “admissível como

⁵² Não estou afirmando que este seja o caso, mas apenas apontando condições para a continuação do debate.

verdadeiro” e “inaceitável” como “não admissível como verdadeiro”.

O que o argumento dos autores consegue nos mostrar é que, dado que aceitamos o que eles chamam de indeterminismo, teremos de aceitar que o substantivismo nos leva ao indeterminismo, ou seja, determinismo e substantivismo são incompatíveis.

Premissa 1 – Substantivismo é uma teoria indeterminista; automaticamente decide em favor do indeterminismo.

Earman & Norton propõem que esse indeterminismo, ao qual somos guiados pelo substantivismo, é inaceitável pois as teorias não exigem o, não dão suporte ao, substantivismo e, acessoriamente, o indeterminismo que o acompanha, ou pelo qual ele automaticamente decide, reduz o poder de predição de nossas teorias do espaço-tempo, não adicionando nenhum novo poder de predição. Além disso não somos forçados, por qualquer motivo, a aceitar o substantivismo em detrimento da posição contrária, relacionismo, pois entre duas teses metafísicas, em que a evidência observacional não pode ser usada como critério de decisão, pois não há evidência observacional, os critérios decisórios se baseiam no aumento ou redução do poder de predição, na coerência e compatibilidade com nossas teorias do espaço-tempo. Considerando esses critérios, vimos que não há qualquer vantagem do substantivismo sobre o relacionismo, que nos obrigue a aceitá-lo junto com sua bagagem indeterminista.

Premissa 2 – Critério de inaceitabilidade de uma tese metafísica – Uma tese metafísica é inaceitável se, não adicionando nenhum novo poder preditivo a nossas teorias, automaticamente decida em favor do indeterminismo.⁵³

Do fato de que o substantivismo decide automaticamente em favor do indeterminismo, reduzindo o poder de predição de nossas teorias, não se segue necessariamente que ele é falso, pode ser até mesmo que tanto o argumento de Earman & Norton quanto nossas teorias do espaço-tempo sejam falsos e o substantivismo seja verdadeiro. Mas parece inaceitável adotar uma tese metafísica comprometida com uma forma tão radical de indeterminismo, quando esta tese não adiciona nada, nenhum novo poder preditivo, a nossas teorias do espaço-tempo, pelo contrário, reduz seu poder preditivo, sem qualquer motivo físico para tal, apenas por um capricho metafísico⁵⁴.

⁵³ Formulado com base em Earman & Norton [1987] pp. 516 e 524.

⁵⁴ Conforme Earman & Norton [1987] p. 516

Premissa 3 – Substantivismo não adiciona nenhum novo poder preditivo a nossas teorias.

Se temos um relógio de pulso que funciona precisamente, porque o desmontaríamos, sabendo que isto arruinaria sua precisão, para colocá-lo preso em um pedaço de madeira? Por algum capricho estranho eu suponho, pois uma vez que, além de não haver qualquer vantagem em colocar um relógio de pulso sobre um pedaço de madeira, estamos acabando com sua função ao sacrificar a precisão em favor de algo que não adiciona nenhum novo uso ou capacidade ao relógio.

Da mesma, se temos teorias que funcionam bem e nos trazem bons resultados, em termos preditivos, por que as sacrificaríamos em favor de uma tese metafísica que não nos traz vantagem alguma? A resposta a esta pergunta, que me parece óbvia, é que não deveríamos sacrificá-las, o que, nas bases que estabeleci nos parágrafos acima, é o mesmo que dizer que não deveríamos aceitar o substantivismo. Parece muito mais viável e sensato sacrificar uma metafísica desnecessária e problemática/radical, do que sacrificar boas teorias físicas que nos trazem resultados preditivos que são, até prova em contrário, confiáveis.

Portanto, devemos concluir como abaixo:

Conclusão 3 – Fechamento do Argumento do Buraco – O substantivismo é inaceitável.

Substantivismo como uma inflação ontológica

É uma questão a parte, e uma clássica objeção ao substantivismo, mas convém fazer constar aqui a afirmação de que o substantivismo nos compromete com uma inflação ontológica desnecessária. Embora seja uma outra questão, e embora hajam muitos motivos pelos quais uma posição pode ser considerada uma inflação ontológica desnecessária, no caso do substantivismo o motivo tem relação com os resultados e motivações do Argumento do Buraco.

Como vimos na apresentação do Leibniz Acid Test, do ponto de vista do relacionista nada muda no mundo quando se procede a transformação dos três pés (ou inversão de leste e oeste). Também, do ponto de vista do substantivista há mais uma entidade além daquelas postuladas quando analisamos o mundo em geral e essa transformação em particular do ponto de vista do relacionista, por isso uma inflação ontológica. Inflar a ontologia é simplesmente adicionar novas

entidades àquelas que já postulamos em nossa ontologia. Essa adição pode ser necessária, e há muitos motivos pelos quais uma inflação ontológica pode ser necessária, ou desnecessária, e igualmente há muitos motivos que podem fazê-la desnecessária, ou ainda, muitas situações nas quais ela é desnecessária.

Resumidamente, uma teoria ou hipótese apresenta uma inflação ontológica desnecessária quando postula a existência de novas entidades em uma situação na qual se poderia obter os mesmos resultados, ou explicar as mesmas coisas, sem a necessidade de postular a existência daquelas entidades, sejam elas físicas ou abstratas. No caso do debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, o relacionista acredita que tirando o espaço-tempo substantivo de nossa ontologia, nada se perde em nosso poder de predição, podendo tudo ser explicado e compreendido nas bases estabelecidas pelas relações, acessoriamente não é exigido por nossas teorias do espaço-tempo local, nem por qualquer outra entidade ou fenômeno físico, a existência do espaço-tempo substantivo, de forma que a substância espaço-tempo é uma entidade desnecessária. Acusando assim o substantivista de inflar desnecessariamente a ontologia.

Capítulo 3

Respostas e reações ao Argumento do Buraco: Um panorama do impacto dos resultados do argumento no debate.

Neste capítulo pretendo explorar brevemente as respostas e reações oferecidas pelas posições existentes no debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo para o Argumento do Buraco, afim de oferecer um diagnóstico, ou ao menos um panorama, do impacto dos resultados do argumento aqui apresentado na comunidade filosófica. Divididas em três grupos principais, o substantivismo, que passaremos a chamar Substantivismo Clássico, o relacionismo, e como fez surgir uma forma mais sofisticada de substantivismo, a qual chamaremos, seguindo a nomenclatura sugerida por autores como Pooley [2000], Substantivismo Sofisticado, que surgiu a partir da reação de autores substantivistas às conclusões do Argumento do Buraco, ao longo da década de 1990, especialmente Rynasiewicz [1994, 1996], Maudlin [1989, 1990], Mundy [1992] e Leeds [1995]. Certamente há outros envolvidos no debate que originou o substantivismo sofisticado, mas estes são os principais com os quais trabalhei para compor este trabalho.

Para organizar o debate, assumindo a correção do argumento de Earman & Norton [1987], digo, seguindo os apontamentos de Pooley [2000], que podemos assumir uma das três posições que descreverei a seguir.

Substantivismo Clássico

Bites the bullet. Se decidirmos manter nossa posição substantivista, no mesmo sentido em que os autores a atacam, teremos de aceitar que o argumento está correto e abraçar o indeterminismo, admitindo nossas teorias do espaço-tempo como incorretas ou no mínimo problemáticas. Não tenho até o momento conhecimento de autores que tenham sido radicais a ponto de assumir essa consequência, mas a possibilidade fica aberta.

Relacionismo

O relacionista não é diretamente beneficiado pelo argumento, nem sua posição deve ser assumida como correta apenas pelo fato de o substantivismo ser reconhecido como inaceitável. O relacionista não enfrenta o dilema do Indeterminismo Radical Local, pois de antemão nega o substantivismo e conseqüentemente o Model Literalism. É defendido por autores como Norton[1987] e Earman [1989].

Os problemas dessa posição são algumas questões que ficam sem resposta, precisamente as mesmas que já existiam antes do Argumento do Buraco, como por exemplo, como formular a física sem um pano de fundo? Aqui trago à tona uma questão clássica, o espaço-tempo como pano de fundo para eventos e objetos nos permite utilizar suas dimensões para descrever as noções de “evento” e “intervalo”. Sem este pano de fundo aparece uma circularidade nestas descrições, os relacionistas teriam de pressupor a dimensão tempo para definir eventos e intervalos, enquanto definem as relações temporais a partir de eventos e intervalos⁵⁵. Neste caso fica para o relacionista a tarefa de definir “evento” e “intervalo” sem recurso qualquer à noção de tempo, o que até o momento não se tem notícia de ter sido realizado.

Outra questão é saber como devemos compreender a possibilidade teórica da existência de regiões vazias do espaço-tempo. Se não há nada que possa se relacionar, formando o construto espaçotemporal, não há como supor o espaço-tempo, neste caso o relacionista fica preso a existência de objetos cosmológicos para estabelecer o espaço-tempo e na ausência desses ele é forçado a assumir a inexistência deste.⁵⁶

Substantivismo Sofisticado

Os defensores dessa posição, aceitam que o argumento é correto com respeito ao Substantivismo Clássico, porém defende que é possível formular o substantivismo de maneira a afirmar as duas posições (substantivismo e equivalência de Leibniz), eliminando tanto os problemas do substantivismo clássico quanto do relacionismo, apresentados acima.

Para entendermos em que medida é possível responder ao Argumento do Buraco e sofisticar o substantivismo, de maneira que ele seja não apenas salvo da extinção, mas tenha alguma utilidade na explicação da realidade, precisamos explorar a metafísica sobre a qual o substantivismo clássico está assentado. Para isto recorreremos a Butterfield e uma metafísica baseada na noção de

⁵⁵ Pooley [2003] p.2.

⁵⁶ Conforme Pooley [2003] e Norton [1999].

mundos possíveis lewisianos. É importante notar que já havia posições substantivistas que se adequavam ao que chamo “substantivismo clássico” antes de Butterfield⁵⁷, e formulações do debate em termos de mundos possíveis (contrafactuais) existem desde Leibniz. Basta lembrarmos da formulação do Leibniz Acid Test, uma situação contrafactual na qual o mundo sofre uma transformação de três pés, o que Butterfield fez foi organizar a metafísica por trás do substantivismo clássico identificando-a com uma derivação da teoria de mundos possíveis formulada por David Lewis, na qual cada situação contrafactual tem existência real, na forma de situações físicas distintas reais, que podem ocupar o mesmo tempo dado, corroborando, portanto, com a afirmação de Earman & Norton [1987] de que o substantivista clássico, nesse caso mesmo um substantivista sofisticado, estaria comprometido com o Model Literalism.

Alguns autores, como o já apresentado Butterfield [1989] e também Hoepfer [1996] pretenderam manter-se na mesma base metafísica que utilizavam, mas implementando alguma sofisticação em termos interpretativos e de apresentação, outros autores como Rynasiewicz [1996], Leeds [1992], Mundy [1992] e Maudlin [1990], procuraram reformular a base metafísica do substantivismo, afim de torná-lo uma teoria mais consistente como um todo. Isso levou autores posteriores, como Pooley [2003] a afirmar que, o Argumento do Buraco atinge o substantivismo defendido por autores como Butterfield [1989], pois a sofisticação implementada não é suficiente para distingui-lo do Substantivismo Clássico, ou sofre dos mesmo problemas deste, mas não atinge, ou ao menos não elimina, o substantivismo de autores como Rynasiewicz [1996], de forma que o termo Substantivismo Sofisticado é mais comumente reservado a estes últimos do que àqueles primeiros.

Independente da corrente a qual o substantivista decida aderir, o substantivismo sofisticado pretende se estabelecer, de modo geral, como uma posição que seja capaz de garantir o determinismo das teorias, ao aceitar a Equivalência de Leibniz, tornando-se imune ao Argumento do Buraco, mas postula os pontos no espaço-tempo como entidades fundamentais de base, escapando assim as dificuldades do relacionismo.

Consequências: A Equivalência de Leibniz é mantida, de acordo com o que Earman & Norton [1987] defendem ser a prática comum da física, garantindo o determinismo da Teoria da Relatividade Geral. A métrica e a Variedade M são interpretadas como representando o espaço-tempo, como também acontece na formulação de Earman & Norton. M e M' podem ser considerados como representando situações físicas distintas na formulação de Earman & Norton, se os pontos do espaço-tempo têm identidade primitiva, de forma que não há compromisso metafísico com modelos teóricos. Intenta-se à manutenção da Equivalência de Leibniz, para os casos em que

⁵⁷ Vide Sklar [1972]

ela se faz necessária, de forma a garantir o compromisso com a manutenção do poder de predição das teorias do espaço-tempo local, sem sacrificar a posição substantivista.

Maudlin, a origem do substantivismo sofisticado

Autores como Maudlin buscaram sofisticar suas posições explorando alguns pontos que entendiam não terem sido bem compreendidos, ou bem explorados, pelos autores do Argumento do Buraco, e que poderiam com alguma sofisticação tornar o substantivismo imune a tal ataque.

Maudlin afirma que o Model Literalism e a Equivalência de Leibniz não esgotam as possibilidades de interpretação de modelos das teorias, por tratarem os pontos de *M* como aparentados com variáveis ligadas⁵⁸. Por isso, contrapô-los da maneira que fazem Earman & Norton seria a falha do Argumento do Buraco.

Alguns modelos representarão situações físicas, mas nem todo modelo o fará, alguns modelos representarão a mesma situação física e alguns modelos diferentes podem representar situações físicas diferentes, mesmo que sejam difeomorfos.⁵⁹ Maudlin defende que apenas aqueles modelos que são fiéis às propriedades essenciais dos pontos em *M* representam situações físicas possíveis genuínas. Os modelos restantes representam impossibilidades metafísicas, uma vez que atribuem a vários pontos do espaço-tempo propriedades contrárias a suas essências individuais.

Maudlin [1990] concorda que o problema para o substantivista começa quando ele responde ao Dilema Verificacionista, e por isso pretende atacar esta parte da formulação de Earman & Norton [1987], mostrando que o Leibniz Acid Test não é aplicável à sua forma sofisticada de substantivismo.

Maudlin considera e rejeita uma interpretação substantivista que fundamenta o teste, tratar os pontos em *M* como variáveis ligadas. Segundo ele, substantivistas não podem endossar contrafactuais como os exigidos pelo teste. Como vimos anteriormente Maudlin entende contrafactuais de maneira diferente da de seus antecessores.

A transformação de três pés⁶⁰ do Leibniz Acid Test resultaria em um estado ontologicamente distinto de coisas, o problema é que, na especificação da mudança, Earman & Norton [1987] usam variedades ligadas, quando deveriam usar nomes. Segundo Maudlin [1990], se não supomos que há um fato ontológico forte acerca do ponto espaço-temporal em que um evento particular ocorre, ou seja, se não supomos que seja possível dizer que tal evento ocorre em tal ponto do espaço-tempo, não podemos discutir a possibilidade de que tal evento ocorra em outro lugar.

⁵⁸ Variáveis ligadas são variáveis que não tem a capacidade de representar um valor determinado, podendo ser redesignada/reinterpretada para representar outro valor.

⁵⁹ Conforme Rynasiewicz [1996] p. S56

⁶⁰ Unidade de medida.

Devemos portanto nos referir à localização do evento físico por nome e não via variáveis ligadas. E em Earman & Norton [1987] os autores se referem por meio de variáveis ligadas. O que segundo Maudlin não tem justificativa razoável. Os modelos que representam as relações após a mudança de três pés são modelos diferentes daqueles que representavam tais relações antes das transformação de três pés.

Maudlin [1990] propõe que no caso do Leibniz Acid Test, se o mundo fosse movido três pés para o Oeste, é o caso que a realidade seria diferente, mas não é o caso que teríamos duas realidades, dentro da proposta substantivista. Se assumirmos que os termos que se referem aos pontos do espaço-tempo são nomes (“aqui” e “lá”) temos que concordar que o que estava “aqui” está “lá” e portanto a realidade é diferente. Caso não nos comprometamos com isso, como querem Earman & Norton [1987], não faz sentido nos perguntarmos sobre uma mudança de três pés e por isso, segundo Maudlin, o Leibniz Acid Test é baseado em uma compreensão incorreta da modalidade, ao menos quando aplicado ao substantivismo proposto por Maudlin [1989, 1990].

Segundo Rynasiewicz [1996], para entendermos os pontos do espaço-tempo como nomes precisamos ainda definir as propriedades essenciais destes, para que os nomes designem tais pontos de forma rígida, e este seria o problema da interpretação de Maudlin, uma vez que ele não oferece qualquer mecanismo para se definir tais propriedades.

De maneira geral, substantivistas que sofisticaram suas posições após o Argumento do Buraco, dos quais Maudlin é um exemplo, têm argumentado que o substantivismo não está comprometido com o Model Literalism. Tais autores, entre os quais encontramos ainda Mundy [1992], Hofer [1996] e Rynasiewicz [1994, 1996], têm centrado seus trabalhos em algumas questões específicas, na tentativa de demonstrar a força de suas posições contra o Argumento do Buraco. Em especial podemos destacar três questões:

- 1 – Tratar os pontos do espaço-tempo como entidades reais compromete-nos com o Model Literalism?
- 2 – A leitura padrão do formalismo matemático sanciona o Model Literalism?
- 3 – Quão bem motivado/intencionado (well-motivated) é o anti-model literalism (a recusa de tal possibilidade) como uma posição filosófica?

Conclusão

Embora tenha se mostrado eficiente em afastar a possibilidade de se aceitar o substantivismo clássico no debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, o Argumento do Buraco não encerra o debate. Primeiramente por não nos dizer nada a respeito do relacionismo, restando ainda muitas possibilidades de acordo com as diversas posições relacionistas, segundo por ainda deixar aberta a possibilidade de outras posições surgirem no debate, como é o caso do substantivismo sofisticado, que vemos surgir a partir de meados do ano de 1996.

Se estivermos dispostos a pagar o preço, poderemos dizer que o Argumento do Buraco sequer elimina o substantivismo sofisticado de nosso grupo de opções, uma vez que, por mais radical que isso seja, fica aberta ainda a possibilidade de alguém o defender, mesmo contra todas as teorias do espaço-tempo e contra o critério de inaceitabilidade, formulado por Earman & Norton [1987].

Mesmo não encerrando o debate, o Argumento do Buraco foi de importância crucial para o desenvolvimento do debate acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo nas recentes três décadas. Pouco se pode falar acerca dessa questão, ou questões ligadas a ela, sem fazer ao menos uma menção ao Argumento do Buraco. As questões levantadas por Earman & Norton foram exaustivamente discutidas ao longo dos anos seguintes, como se ninguém pudesse defender o substantivismo acerca do espaço-tempo antes de responder a esses dois autores, exemplos não faltam de artigos que levantavam a questão, buscando responder ou se adequar ao Argumento do Buraco, antes de formular suas próprias questões acerca do estatuto ontológico do espaço, como vemos acontecer em diversos autores, como Rynasiewicz [1994, 1996], Mundy [1992], Leeds [1995], Butterfield [1989], Friedman (1983), Pooley [2000, 2003, 2004, 2006], Maudlin [1990], etc.

O desafio proposto por Earman & Norton [1987] foi grande o suficiente para obrigar toda a área a uma revisão concreta e abrangente das posições no debate, adicionando ainda mais cuidado e rigor às discussões e formulações e reinstaurando uma era de naturalismo em filosofia do espaço-tempo.

Neste trabalho apresentei a estrutura e funcionamento do Argumento do Buraco, muito mais poderia ser dito, muitas questões poderiam ser derivadas daquelas aqui apresentadas, mas procurei apresentar, de maneira direta e simples, toda a formulação do argumento, baseando-me para isto não apenas no artigo no qual o argumento é formulado pela primeira vez Earman & Norton [1987], mas também em Norton [1999, 1999b] e em autores que trabalharam a questão posteriormente, especialmente Rynasiewicz [1994, 1996], que dedicou grande parte de seu trabalho

a apresentar a formulação e as implicações do Argumento do Buraco, ao passo que buscava reformular seu próprio substantivismo, tentando assim escapar do Indeterminismo Radical Local, sem abrir mão da doutrina da substância.

Apresentei inicialmente as posições e informações básicas necessárias para entender, não apenas o argumento, mas o debate em geral acerca do estatuto ontológico do espaço-tempo, pois meu objetivo principal é estimular o debate em língua portuguesa, que hoje é praticamente inexistente. Passei a apresentação do Argumento do Buraco, no capítulo dois, pois é preciso mostrar como se debate as questões em filosofia do espaço-tempo e que tipo de questão é trabalhada, mas também para apresentar o método de trabalho dos autores e lançar alguma luz acerca das motivações para se aderir a uma corrente ou outra, quando nos deparamos com dilemas e consequências indesejadas em nossa pesquisa em filosofia do espaço-tempo. Por último, procurei apresentar um panorama da configuração do debate após a publicação do Argumento do Buraco, objetivando mostrar a importância de tal publicação por meio das mudanças que provocou no cenário da filosofia do espaço-tempo no final do século XX e na influência que ainda exerce no século XXI.

O debate acerca do estatuto ontológico é um ponto importante da filosofia contemporânea, que não tem recebido atenção de pesquisadores brasileiros. Com este trabalho acredito ter contribuído com informações suficientes para instigar algum movimento no sentido de iniciar as discussões para que se estabeleça o debate em língua portuguesa, introduzindo o vocabulário, as questões e o modo de trabalho, bem como uma série de autores proeminentes nessa área, que podem servir de referência a pesquisadores interessados no tema.

Bibliografia

Baker, D.; Spacetime Substantivalism and Einstein's Cosmological Constant; Department of Philosophy, Princeton University, 2004.

Belot, G. ; Earman, J. Pre-Socratic Quantum Gravity. In Craig Callender & Nick Huggett (eds.), *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*. Cambridge University Press.2001

Butterfield, J., "The Hole Truth", *British Journal for the Philosophy of Science*. 1989.

Earman, J. and Norton, J. 1987. "What Price Spacetime Substantivalism? The Hole Story," *British Journal for the Philosophy of Science* 38: 515-525 , 1987.

Earman, J. Remarks on Relational Theories of Motion. Canadian Journal of Philosophy, 19 (1): 83-87. 1989.

Einstein, A. *A teoria da relatividade especial e geral* (Trad. Carlos Almeida Pereira), Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

Friedman, M.; *Foundations of Space-Time Theories*. Princeton University Press,1983.

Hoefer, C. The Metaphysics of Space-Time Substantivalism. *Journal of Philosophy* 93. 1996.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl; *Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física Moderna*; 4ª edição; Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., 1995.

Halliday, David; Resnick, Robert; Krane, Kenneth S.; *Física 4*; 5ª edição; LTC Editora, 2004.

Kripke, S. A. *Naming and Necessity*. Oxford University Press, 1980

Kripke, S. A. Semantical Considerations on Modal Logic. *Acta Philosophica Fennica*, 1963.

Leeds, S. Holes and Determinis: Another look. *Philosophy of Science* 62, 1995.

Leibniz, G. W. *Correspondência com Clarke - Coleção "Os pensadores"* (Trad. Carlos Lopes de Mattos), São Paulo: Abril Cultural, 2ª edição, 1983.

Lewis, D. *Counterfactual* . Oxford University Press,1973.

Mach, E. *Desarrollo historico-critico de la mecanica* (Trad. Jose Babini), Buenos Aires: Espasa – Calpe. 1949.

Marion, W. ; Thornton, R. ; Classical Dynamics of Particles and Systems. 4th Edition; *Makron Books*, 1987.

Maudlin, T. "The Essence of Space-Time, in A. Fine and J. Leplin (eds.), PSA Vol 2.

Philosophy of Science Association. 1989.

Maudlin, T. Substances and Space-Time: What Aristotle Would Have Said to Einstein. *Studies in the History and Philosophy of Science*. 1990.

Mundy, B. Space-Time and isomorphism, in D. Hull, M. Forbes & K. Okruhlik, eds, 'Proceeding of the 1992 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association', Vol. 1, Philosophy of Science Association, East Lansing, Michigan, pp. 515-27, 1992.

Norton, J.; Einstein, the Hole Argument and the Reality of Space. In J. Forge (ed.) *Measurement, Realism and Objectivity*. Reidel, 1987.

Norton, John D.; The Hole Argument. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 1999.

Norton, John D.; Supplement to The Hole Argument: Active and Passive Covariance. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 1999.

Norton, John D. *Introduction to the Philosophy of Science, Vol. V, Philosophy of Space and Time*. Cambridge: Hackett Publishing Company. 1992.

Rynasiewicz, R. A.; The lessons of the Hole Argument, *British Journal for the Philosophy of Science*. 1994 45, 407–36

Rynasiewicz, R. A.; 'Is There a Synthatic Solution to The Hole Problem?', *Philosophy of Science*. 1996 63, S55–S62.

Pooley, Oliver. A Hole Revolution, or Are We Back Where We Started? *Studies in History and Philosophy of Science Part B*, 37 (2): 372-380, 2006.

Pooley, Oliver. General Covariance and the Hole Argument. Em Katherine Brading & Elena Castellani (eds.), *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*. Cambridge University Press. 2003.

Pooley, Oliver. Space-time realism and Quantum Gravity. Oriel College, University of Oxford. 2000.

Pooley, Oliver. Special Relativity as a “Constructive” Theory. Oriel College, University of Oxford. 2004.