



O universo de Einstein: uma leitura segundo a metodologia da teoria da ciência

Einstein's Universe: An Interpretation Through the Methodology of the Theory of Science


Danilo Rodrigues

 [0000-0001-7499-646X](https://orcid.org/0000-0001-7499-646X)

danilo.rodrigues@usp.br

FFLCH – Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências humanas / USP –
Universidade de São Paulo

Jose Raymundo N. Chiappin

 [0000-0003-3202-2274](https://orcid.org/0000-0003-3202-2274)

chiappin@usp.br

FFLCH – Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências humanas / USP –
Universidade de São Paulo

Jojomar Lucena da Silva

 [0000-0001-6097-0066](https://orcid.org/0000-0001-6097-0066)

jojomarls@gmail.com

FFLCH – Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências humanas / USP –
Universidade de São Paulo

Como citar

RODRIGUES, Danilo;
CHIAPPIN, Jose Raymundo
Novaes; LUCENA DA SILVA,
Jojomar. O universo de Einstein:
uma leitura segundo a metodologia
da teoria da ciência. *Sofia*, Espírito
Santo, Brasil, v. 15, n. 1, p.
e15151669, 2026. DOI:
[10.47456/sofia.v15i1.51669](https://doi.org/10.47456/sofia.v15i1.51669).

Disponível em:
<https://periodicos.ufes.br/sofia/article/view/51669>. Acesso em: 25
maio. 2026.

Recebido: 08/02/2026

Received: 08/02/2026

Aprovado: 07/05/2026

Approved: 07/05/2026

Publicado: 25/05/2026

Published: 25/05/2026

Resumo

O presente ensaio tem por objetivo apresentar a Metodologia da Teoria da Ciência, elaborada e organizada pelo professor Jose Raymundo Novaes Chiappin em sua tese de doutoramento (Chiappin, 1989), enquanto instrumento metodológico capaz de organizar e hierarquizar os diversos componentes filosóficos relevantes na reconstrução racional de episódios da história da ciência. Utilizamos, como estudo de caso, a narrativa sobre as origens da Cosmologia Relativística, com o modelo de Universo apresentado por Einstein em 1917. A MTC nos sugere identificar a unidade epistêmica e identificar os componentes metodológicos, metafísicos e históricos. No nível metafísico devemos identificar os componentes ontológicos, metodológicos e axiológicos de qualquer concepção de ciência. Ao reconstruir o modelo cosmológico de Einstein somos levados a identificar a Teoria da Relatividade Geral como unidade epistêmica de sua e de todas as principais formulações cosmológicas imediatamente posteriores (tais como as cosmologias de Friedmann e Lemaitre). Nas páginas seguintes fazemos a decomposição de sua formulação cosmológica em mais detalhes, separando as proposições que dizem respeito ao conhecimento que temos do universo (epistemológicas), sobre os componentes do universo (ontológicas) e sobre os fins e valores da Cosmologia enquanto ciência (axiológicas). Decomposições nos níveis da metodologia, metametodologia, lógica e histórica também são apresentadas neste ensaio. Acreditamos que a MTC, enquanto instrumento teórico, pode contribuir para a crescente e fértil integração entre estudos em história e filosofia da ciência.

Palavras-chave: cosmologia; Einstein; metodologia; ciência.

Abstract

The present essay aims to introduce the Methodology of the Theory of Science, developed and structured by Professor Jose Raymundo Novaes Chiappin in his PhD dissertation (Chiappin, 1989), as a methodological instrument capable of organizing and hierarchizing the various philosophical components relevant to the rational reconstruction of episodes in the history of science. As a case study, we employ the narrative concerning the origins of Relativistic Cosmology, focusing on the model of the universe proposed by Einstein in 1917. The MTC suggests identifying the epistemic unit and distinguishing the methodological, metaphysical, and historical components. At the metaphysical level, one must identify the ontological, methodological, and axiological components of any conception of science. In reconstructing Einstein's cosmological model, we are led to identify General Relativity as the epistemic unit of his formulation and of all major cosmological formulations that immediately followed it (such as the cosmologies of Friedmann and Lemaitre). In the following pages, we provide a more detailed decomposition of his cosmological formulation, separating propositions concerning our knowledge of the universe (epistemological), the constituents of the universe (ontological), and the aims and values of Cosmology as a science (axiological). Decompositions at the levels of methodology, metametodology, logic, and history are also presented in this essay. We argue that the MTC, as a theoretical instrument, can contribute to the growing and fruitful integration between studies in the history and philosophy of science.

Keywords: cosmology; Einstein; methodology; science.



Introdução: a cosmologia na Filosofia da Ciência

O presente texto busca contribuir, em alguma medida, com a interface que pode existir entre a filosofia e a história da ciência. Por mais numerosas que sejam as publicações sobre o tema nas últimas décadas, nos parece que a questão está longe de ter se esgotado. É de amplo conhecimento a existência de algumas consagradas propostas de reconstruções racionais da história da ciência, a fim de melhor compreendê-la. Podemos citar, de antemão, a Metodologia dos Programas de Pesquisa, elaborada por Imre Lakatos (1979), a elaboração do conceito de Tradição de Pesquisa, realizada por Larry Laudan (2011), ou até mesmo a descrição das Revoluções Científicas e a alternância entre os períodos de Ciência Normal e de crises, concebida por Thomas Kuhn (1978). O objetivo do presente trabalho é apresentar um conjunto de instrumentos teóricos conhecido como Metodologia da Teoria da Ciência (MTC) como uma possibilidade de realizar uma Reconstrução Racional de episódios da história da ciência, ressaltando desdobramentos teóricos e vínculos entre proposições e entre teorias, que são geralmente ignorados nas consagradas reconstruções, ainda que sejam formidáveis elaborações conceituais.

A MTC, originalmente concebida e organizada por Chiappin (1989) com o objetivo de construir e reconstruir concepções de ciência e dos problemas que elas pretendem resolver, pode ser concebida, inclusive, como recurso complementar à Metodologia dos Programas de Pesquisa de Lakatos, quando identificamos um núcleo teórico e, posteriormente, aplicamos os instrumentos da MTC a um determinado episódio da história da ciência. Essa interação entre a MTC e a metodologia Lakatosiana pode ser observada em trabalhos já publicados por outros autores, com ênfase na reconstrução de episódios históricos no âmbito das teorias econômicas (Chiappin; Leister, 2011), do racionalismo clássico (Chiappin, 1996) e, até mesmo, na termodinâmica do século 19 (Lucena Da Silva; Chiappin, 2019).

No presente trabalho, buscamos utilizar o recurso da MTC em episódios que ainda não foram, por meio dela, reconstruídos: a cosmologia relativística. Utilizaremos seus recursos metodológicos para reconstruir a concepção cosmológica apresentada por Albert Einstein no seu célebre artigo de 1917, trazendo o primeiro modelo moderno de universo, formulado no mesmo período histórico em que os astrônomos começaram a perceber a existência de outras estruturas além da Via-Láctea, nos primórdios das disciplinas de pesquisa conhecidas como Cosmologia e Astronomia Extragaláctica.

Alguns importantes filósofos da ciência já trouxeram a história da cosmologia como estudo de caso de suas visões acerca da ciência (Koyré, 1982; Popper, 2010). A utilização da MTC, todavia, quando inserida em reconstruções racionais da história intelectual, visa fornecer uma avaliação mais refinada acerca da natureza das relações entre as teses do núcleo e as hipóteses que se sucedem na heurística positiva de um Programa de Pesquisa (se existe, por exemplo, compromissos ontológicos, metodológicos, epistemológicos ou de qualquer outra natureza entre o núcleo e os componentes da heurística de um Programa de Pesquisa) e, conseqüentemente, apresentar uma estrutura mais detalhada dos desdobramentos e nuances contidos no modelo de universo proposto por Einstein que podem não ser devidamente notados ou enfatizados pela abordagem clássica Popperiana e Lakatosiana.

Naquilo que Lakatos descreve como leitura externalista da história da ciência podemos encontrar motivações políticas, econômicas, religiosas ou de naturezas distintas enquanto fatores que contribuem para moldar visões de mundo e de ciência e podem não ser adequadamente inseridos em suas reconstruções racionais, também podemos citar uma excessiva rigidez em sua metodologia quando comparada com estudos de caso. Em Laudan podemos criticar sua concepção de Tradições de Pesquisa por não apresentar força normativa em seu conceito de racionalidade. Também Popper é considerado por seus comentadores como excessivamente ingênuo em seu critério de falsibilidade.¹

São todos exemplos que podem ser abundantemente encontrados na história da ciência e, para os quais, a Metodologia da Teoria da Ciência pode propor níveis de investigação que não são enfatizados pelas consagradas epistemologias da ciência. A MTC nos convida a investigar, ao longo da atividade de reconstrução racional de uma teoria científica, os aspectos epistemológicos, ontológicos e axiológicos que se mostram presentes nas teorias científicas. Tais elementos abarcam influências filosóficas e metafísicas, como as que supostamente levaram Einstein a contemplar elementos da filosofia Espinosana² em seu modelo de universo.

Popper utiliza a palavra “cosmologia” em um sentido amplo e se vale, de forma bastante interessante, das diferentes cosmovisões dos gregos, para introduzir sua tese do falseamento

¹ Neste parágrafo optamos por omitir as referências, especialmente por serem superabundantes: Laudan inicia seu livro criticando Lakatos e Kuhn, enquanto Kuhn dedica um texto a criticar Popper, que responde fazendo o mesmo. Deixamos apenas a referência ao simpósio organizado por Lakatos e Musgrave em 1970, que contém os textos de Popper, Kuhn e Lakatos (traduzido em 1979)

² Retornaremos a essa questão em mais detalhes ao longo deste ensaio quando apresentarmos a reconstrução racional da cosmologia de Einstein.

enquanto demarcação. Nos traz as figuras de Tales de Mileto e seus discípulos como um importante exemplo do incentivo ao debate crítico e racional. A tradição de criticar teorias, característica deste período e, particularmente, as propostas cosmológicas, é enaltecida por ele como elemento fundamental para o progresso da ciência.

Creio que a filosofia deve retornar à cosmologia e a uma teoria simples de conhecimento. Todos os homens pensantes estão interessados em, pelo menos, um problema filosófico: compreender o mundo em que vivemos e, portanto, compreender nós mesmos (que fazemos parte do mundo) e nosso conhecimento dele. Creio que toda ciência é cosmologia. A meu ver, o interesse da filosofia, tanto quanto o da ciência, reside na ousada tentativa de contribuir para o nosso conhecimento do mundo e para a teoria do nosso conhecimento do mundo (Popper, 2010, p. 25).

Quando Popper utiliza o termo “cosmologia”, invoca seu sentido filosófico mais amplo, apresentando o que deveria ser a axiologia de toda e qualquer atividade científica. Acreditamos, porém, que mesmo a Cosmologia Relativística, nascida no século XX, preserva seus objetivos finais: buscar compreender a dinâmica e evolução do mundo em que vivemos. Todos temos testemunhado avanços significativos da ciência contemporânea na direção de alcançar essa “meta Popperiana”. Cerca de 100 anos atrás ainda nos questionávamos sobre a possível existência de outras galáxias e, atualmente, investigamos a expansão do universo, captamos imagens de buracos-negros e detectamos exoplanetas orbitando outras estrelas. A investigação da estrutura do espaço-tempo só se tornou possível após a formulação da Teoria Geral da Relatividade, publicada por Einstein em 1915, o que lhe permitiu a primeira estimativa moderna³ do diâmetro do universo. A mesma teoria permitiu também que, em 1922, Alexander Friedmann realizasse a primeira estimativa moderna da idade do universo.

1. Metodologia da Teoria da Ciência: seus componentes e sua aplicação

A MTC parte da consideração de que concepções verdadeiramente científicas devem se propor a discutir 4 diferentes problemas epistemológicos. É nesse ponto que destacamos seu caráter demarcativo entre candidatos à concepção de ciência. Eles são nomeados “Os 4 problemas epistemológicos fundamentais” e os apresentamos abaixo:

³ Utilizamos a palavra “moderna” em respeito às diversas tradições culturais, religiosas e mitológicas que realizaram estimativas, ao longo do tempo, sobre idade e tamanho do universo. Evidentemente tais estimativas não apresentam os componentes de racionalidade da ciência contemporânea. Consideramos que aprofundar o tema da demarcação nos tiraria do propósito deste ensaio. Para mais detalhes a esse respeito, sugerimos (Martins, 2012).

- ❖ O problema da unidade epistêmica: aqui é discutida a questão de identificar o objeto, natureza e estrutura da unidade epistêmica básica da concepção de ciência. Uma estrutura conceitual se ergue em torno de sua unidade epistêmica, que pode ser uma proposição, teoria, programa de pesquisa, tradição de pesquisa etc.
- ❖ O problema da adequação: onde se discute o problema da relação entre a unidade epistêmica e os dados empíricos. Se o conhecimento partiu da experiência, se houve uma acomodação entre teoria e a base empírica, são questões que compõem esse problema.
- ❖ Dinâmica do conhecimento: que descreve o problema do progresso do conhecimento, isto é, de como este se altera e progride. Responder a esse problema consiste em descrever as mudanças dinâmicas pelas quais a estrutura teórica vai sendo submetida à medida que novos dados teóricos/empíricos são incorporados.
- ❖ O estatuto cognitivo: esse problema está direcionado para o caráter instrumentalista, realista ou descritivista da unidade epistêmica.

Portanto, consideramos que, segundo a MTC, a reconstrução de qualquer concepção científica envolve a identificação de sua unidade epistêmica e a forma como ela se relaciona com o conhecimento empírico na construção de um modelo capaz de resolver problemas, além de descrever a dinâmica dessa relação, que se altera com a realização de novos experimentos, descoberta de novos problemas e a concepção de novas interpretações, assim como descrever o seu estatuto cognitivo. Ainda neste ensaio, mostraremos como a concepção cosmológica de Einstein dialoga com cada um destes problemas fundamentais.

1.1 - A Estrutura Interna Da MTC

A Metodologia da Teoria da Ciência busca reconstruir as teorias científicas nos seguintes níveis:

- metafísica; (ontologia, epistemologia e axiologia)
- lógica da ciência; (metodologia, metametodologia)
- história da ciência.

a) O nível da metafísica

A reconstrução de uma concepção científica, no nível da metafísica, descreve seus aspectos epistemológicos, ontológicos e axiológicos, que serão brevemente descritos e exemplificados abaixo.

Epistemologia

A Epistemologia diz respeito à natureza, origem e limites do conhecimento que possuímos ou que podemos possuir. Envolve questões sobre as origens (observações, experimentos, teorias) e validade do que conhecemos acerca do universo. Estão imersas na Epistemologia as discussões sobre confiabilidade das informações obtidas através dos telescópios, o papel dos modelos e simulações computacionais, a confiabilidade de tais modelos e as relações entre teoria e observações. Também inserimos na Epistemologia a questão acerca dos diferentes métodos científicos e como a concepção de modelos contribui para a construção do conhecimento cosmológico. Seriam as teorias cosmológicas passíveis de falsificação? Estando inseridos no interior do universo, ainda estamos em condições de conhecê-lo? Ou será que existem aspectos do universo intrinsecamente inacessíveis ao conhecimento humano? Por exemplo, a existência de horizontes de evento em buracos negros e a ideia de limites do universo observável levantam questões sobre a acessibilidade a entes e acontecimentos que são os objetos do conhecimento. Geralmente, numa situação destas, recorre-se a entidades inobserváveis para compor a explicação das observáveis, isto é, essas questões adquirem, muitas vezes, um viés ontológico. Estas e outras são questões epistemológicas que se levantam na pesquisa em cosmologia.

Ontologia

Ontologia é o estudo do ser e da existência. Em cosmologia, isso pode envolver questões sobre a natureza e a existência do universo, tais como a hipótese de multiversos ou sobre a ontologia do espaço e do tempo. Também se insere no nível da ontologia as questões sobre composição química do universo e a polêmica questão acerca da matéria e da energia escura e como tais entidades interferem na nossa compreensão do universo. A ontologia, nesse caso, condiciona a epistemologia. Citamos por fim, mas sem a pretensão de esgotar os exemplos possíveis, a discussão sobre o Big Bang e a hipótese acerca de uma singularidade da qual tenha se iniciado a expansão do “Kosmos”, bem como a problematização do significado do termo “criação” ou do que consideramos ser um destino provável do universo.

Axiologia

Axiologia é o estudo dos valores, especialmente do próprio conhecimento, mas inclui também a ética e a estética. Em cosmologia, questões axiológicas podem discutir o valor do conhecimento que podemos ter e a maneira como ele deve nos influenciar em nossas perspectivas culturais e individuais; se tal conhecimento possui valor por si mesmo ou apenas atrelado a questões práticas tecnológicas. Abarca também questões éticas associadas à exploração do espaço. Também são questões axiológicas aquelas estéticas, tais como as relações entre nossa concepção de universo e o sentido da vida e o impacto de nosso conhecimento cosmológico com a urgência de preservação da vida em nosso planeta, ou até mesmo a relação entre a beleza do universo e o propósito da vida humana.

b) O nível da lógica da ciência

O nível da lógica da ciência, por sua vez, engloba os métodos, modelos, critérios e demais recursos metodológicos que a concepção de ciência deve dispor para determinar a unidade epistêmica e para reconstruir racionalmente as resoluções dos problemas a ela relacionados na história da ciência. Distinguimos, no interior da lógica da ciência, os subníveis da metodologia e da metametodologia. A metodologia é centrada na identificação e descrição das características da unidade epistêmica, bem como de seu progresso e desenvolvimento. Pode ser, portanto, decomposta nos seguintes componentes.

Base do conhecimento: na base do conhecimento estão os dados, que podem não ser apenas dados empíricos, extraídos diretamente da experiência, mas também dados instrumentais ou teóricos.

Representação: a representação pode ser descrita, em linhas gerais, como a linguagem conceitual em que o conhecimento se expressa e se articula, por meio da qual encontramos os desdobramentos em problemas menores e articulamos as formas de solucioná-lo.

Sistema de Inferência: engloba as analogias, modelos, metáforas, dedução, indução e outras formas de inferir resultados a partir de uma base conhecida e das condições de contorno de um determinado problema.

Heurística: a heurística é composta pelo conjunto de procedimentos, técnicas, métodos, que possam ser utilizados para, dentro de um sistema, resolver os problemas que surgem a

partir da base existente, tendo em vista a explicação de um resultado muitas vezes conhecido ou até assumido.

A metametodologia, por sua vez, não tem por objeto a ciência em si, mas as próprias concepções de ciência. É nesse nível em que realizamos a demarcação entre candidatos à concepção de ciência. No nível metametodológico discutimos, por exemplo, os motivos pelos quais a concepção de Universo elaborada por Einstein, mesmo não se caracterizando um programa de pesquisa Lakatosiano, ainda assim é uma concepção genuinamente científica. O nível da história, por fim, está condicionado pelo papel que a história pode exercer para a concepção de ciência em questão. Ela pode constituir a base observacional bem como desenvolver um papel heurístico ou, até mesmo, normativo. Alguns filósofos da ciência utilizam a história da ciência para estabelecer as bases descritivistas de suas concepções de progresso e de racionalidade científica. Podemos incluir Kuhn, Lakatos ou Laudan neste grupo. Há também aqueles expoentes que não atribuíram à história da ciência importância fundamental para a formulação de suas concepções de ciência, dentre eles podemos citar Popper, Carnap e os outros positivistas lógicos.

2. A COSMOLOGIA DE EINSTEIN SEGUNDO A MTC

Realizada esse breve resumo sobre os níveis e ramificações da MTC, partiremos para a recomposição do modelo cosmológico de Einstein, segundo sua estrutura interna. Ressaltamos, porém, que há uma série de divergências na literatura com relação a alguns aspectos da cosmologia científica. A primeira delas envolve a questão sobre a demarcação “científica” e se podemos afirmar que a cosmologia, enquanto ciência, nasce com o modelo de Einstein. Há autores que defendem que isso ocorre apenas com a descoberta da radiação cósmica de fundo em 1964 (Brush, 1992). Outros sustentam que a cosmologia dos gregos já merece ser chamada de ciência (Koyré, 1982). Alguns marcam que essa virada se dá com as contribuições de Newton no século XVII (Ponty; Morando, 1976).

Também observamos certa divergência entre os autores que, em alguma medida, utilizaram a Metodologia dos Programas de Pesquisa de Lakatos para descrever a cosmologia do século XX. Apesar da existência de trabalhos que consideram a teoria do Big Bang, proposta por Gamow, Alpher e Hermann, como um Programa de Pesquisa, no sentido Lakatosiano do termo (Artury; Peduzzi, 2013), seguiremos a reconstrução que reconhece na teoria de

Friedmann-Lemaître, cujas sementes se encontram no modelo cosmológico apresentado por Einstein, em seu artigo “Considerações Cosmológicas sobre a Relatividade Geral” em 1917 (Rodrigues & Chiappin, 2024). Em relação ao mencionado artigo de Einstein, Alexander Friedmann e Georges Lemaître acrescentam a expansão do universo conectada à lei de “Hubble-Lemaître”, descoberta empiricamente por Edwin Hubble, em 1929, motivo pelo qual defendemos que o modelo de universo de Einstein apresenta apenas parte dos elementos do núcleo desse Programa de Pesquisa. Partiremos, inicialmente, a mostrar como o “universo de Einstein” responde aos 4 problemas epistemológicos fundamentais.

2.1 – A Relatividade Geral enquanto unidade epistêmica no “Universo de Einstein”

O primeiro trabalho de Einstein sobre cosmologia consiste, basicamente, em utilizar os instrumentos teóricos expostos dois anos antes, quando finalmente desenvolve a versão definitiva de sua teoria da Relatividade Geral, a saber, o princípio de Mach e a covariância geral do tensor momento-energia, com os quais descreve o elemento de caminho em um espaço afetado gravitacionalmente por toda a distribuição de matéria e energia existente.

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu$$

Sua cosmologia é uma das primeiras aplicações da Relatividade Geral, que também foi utilizada por ele em outros trabalhos para resolver diferentes problemas, tais como o movimento do planeta Mercúrio ou o efeito Doppler para a luz. Por isso identificamos a teoria da Relatividade Geral como a unidade epistêmica de seu modelo de universo. Os trabalhos que se seguiram, com destaque aos modelos de universo em expansão, obtidos por De Sitter (sem matéria) e por Friedmann são obtidos como soluções não encontradas inicialmente por Einstein (no caso de De Sitter) ou por erros matemáticos cometidos por ele (no caso da solução obtida por Friedmann).

A Relatividade é o elemento epistêmico central, não apenas no modelo de Einstein, como também no modelo de Friedmann, de Lemaître e de muitos outros que foram formulados em seguida. A unidade epistêmica pode ser uma proposição, uma teoria, um Paradigma ou, até mesmo, uma Tradição de Pesquisa. A teoria da relatividade é o elemento básico e central, não apenas na cosmologia de Einstein, mas é inteiramente preservada nos trabalhos de seus contemporâneos. Se considerarmos os trabalhos seminais de Friedmann, Lemaître e mesmo

aqueles das décadas seguintes como Hoyle, Gamow, Alpher, Hermann e Hubble e tantos outros.

Todos esses autores divergem em suas soluções para as equações de campos, alguns incorporam dados empíricos, como a velocidade de recessão das galáxias ou estimativas para a densidade de matéria no universo. É notório, todavia, que nenhum desses autores buscou alterar, ainda que parcialmente, as equações fundamentais da Relatividade Geral, ou sua interpretação fundamental da relação entre matéria e energia. Os fundamentos da Relatividade Geral permanecem, ainda hoje, os mesmos de 1915. Por essa razão consideramos que essa teoria, ainda que extensa, permanece como a unidade básica do conhecimento cosmológico. A Relatividade Geral se configura, portanto, como a unidade epistêmica na cosmologia de Einstein.

A identificação da unidade epistêmica ocorre, particularmente, na leitura dos diferentes trabalhos na cosmologia relativística. Os diferentes modelos utilizam a mesma teoria, ajustando algumas condições iniciais distintas, a substituição de algumas hipóteses auxiliares por outras, guardando alguma semelhança com a relação entre Paradigma e Ciência Normal em Kuhn. No contexto da MTC estamos descrevendo a dinâmica do conhecimento, que ocorre após os problemas da identificação e da adequação da unidade epistêmica com os dados empíricos. Na dinâmica do conhecimento destacamos os diferentes modelos relativísticos de universo e alguns movimentos do próprio Einstein, como o abandono do princípio de Mach (Pais, 1982), a renúncia ao modelo de universo em equilíbrio e a aceitação dos modelos dinâmicos (Einstein, 1933).

O quarto problema epistêmico fundamental envolve o estatuto cognitivo. Ian Hacking faz uma distinção entre realismo acerca de teorias e realismo acerca de entidades (Hacking, 2012) que nos parece bastante adequada para descrever o valor de conhecimento da teoria da Relatividade enquanto unidade epistêmica, Einstein nos parece mais realista em relação à sua teoria do que em relação às entidades inobserváveis por ela descritas, assim como nos parece particularmente mais realista em relação à Relatividade do que em relação à Mecânica Quântica. O estatuto ontológico de sua teoria aparenta incorporar o anseio de, não apenas descrever adequadamente, mas de incorporar a realidade

Sem a crença de que é possível apreender a realidade através de nossas construções teóricas, sem a crença na harmonia íntima do nosso mundo, não poderia haver ciência. Essa crença é e sempre será o motivo fundamental de toda criação científica. Em todos os nossos esforços, em toda luta dramática entre pontos de vista antigos e novos, reconhecemos

o eterno anseio de compreensão, a sempre firme convicção na harmonia de nosso mundo (Einstein; Infeld, 2008, p. 243).

A construção da unidade epistêmica ocorre no turbulento período que foi a vida intelectual e pessoal de Einstein entre os anos de 1905, quando apresenta a Relatividade Restrita em seu texto “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” e 1915, quando finalmente incorpora a gravitação em sua teoria. Muitas são as “idas e vindas” neste período, mudanças conceituais, que passam pelos efeitos gravitacionais sobre a velocidade da luz e sobre sua desistência em tentar descrever a mudança de referenciais inerciais por meio de transformações apenas lineares na descrição de um mesmo evento físico. Mais do que sua preocupação com a adequação empírica, a teoria geral que buscou construir estava comprometida com (Pais, 1982):

- i) A covariância geral de suas equações
- ii) O princípio da Relatividade
- iii) O princípio da equivalência
- iv) O princípio de Mach

O modelo cosmológico de Einstein é, em resumo, uma das primeiras aplicações de sua nova teoria. Não constitui, absolutamente, seu objetivo principal, mas apenas um dentre vários problemas cuja solução se apresentou no horizonte dessa nova e revolucionária teoria acerca da relação entre a matéria e a estrutura do espaço-tempo.

2. 2 – A metafísica no modelo de Einstein

No nível da metafísica, apresentamos as teses de naturezas ontológicas, epistemológicas e axiológicas contidas no modelo de universo de Einstein.

Teses Epistemológicas

TE₁. O universo está sujeito às mesmas leis da Física que seu interior

Esta tese aborda a ideia de que as leis da física que governam o comportamento de objetos e fenômenos dentro do universo também se aplicam à sua totalidade. Em termos epistemológicos, isso se refere à ideia de que o conhecimento das leis físicas é consistente e universal, independentemente da escala ou da localização. A tese sugere que a física aplicada em escalas menores (como no interior de estrelas ou planetas) é a mesma que se aplica em escalas maiores (como no universo em geral). Este é um princípio fundamental na física e

cosmologia, pois implica que nosso conhecimento das leis físicas é aplicável de maneira ampla e uniforme. Isso implica que o modelo cosmológico de Einstein, que é baseado na relatividade geral e na física do espaço-tempo, se aplica de forma coerente e consistente a todo o universo. A tese questiona a possibilidade de diferentes leis físicas ou constantes em diferentes regiões do universo, promovendo uma visão unificada e universal da ciência.

TE₂. O espaço físico é descrito pela geometria de Riemann

Esta tese se refere à aplicação de uma estrutura matemática específica (a geometria de Riemann) para descrever o espaço físico. Em termos epistemológicos, isso diz respeito a como o conhecimento matemático é utilizado para modelar e compreender a estrutura do universo. A geometria de Riemann é uma ferramenta matemática que permite descrever a curvatura do espaço e do tempo, conforme é fundamental na teoria da relatividade geral de Einstein. A tese implica que a compreensão e o conhecimento do espaço físico são representados de forma precisa e útil por essa geometria. A adoção da geometria de Riemann no modelo cosmológico de Einstein permite uma descrição mais abrangente e precisa do espaço-tempo, especialmente em contextos em que a curvatura deste é significativa (como em grandes escalas cosmológicas).

Uma pequena nota biográfica pode esclarecer a adoção desta tese de cunho epistêmico: entre o período de 1905 e 1915, Einstein começa a se deparar com a dificuldade de descrever os efeitos gravitacionais sobre a estrutura do espaço-tempo utilizando a geometria euclidiana. Com a ajuda do matemático Marcel Grossmann, é apresentado à geometria multidimensional de Riemann, a qual é adotada, permitindo-o caminhar até formular a Relatividade Geral.

TE₃. A teoria da relatividade geral de Einstein fornece uma estrutura teórica e matemática que possibilita a descrição da relação entre a matéria (e seus efeitos gravitacionais) contida no universo a sua curvatura espacial.

Esta tese se refere à capacidade da teoria da relatividade geral para não apenas descrever o universo, mas também para prever fenômenos cosmológicos com alta precisão. Em termos epistemológicos, trata-se do poder explicativo e preditivo do modelo científico. A relatividade geral permite a formulação de equações que descrevem a interação de corpos massivos com o espaço-tempo. Estas equações são fundamentais para prever o comportamento do universo, desde a formação de estruturas em grande escala até a dinâmica das galáxias e a expansão do universo. As previsões feitas pela relatividade geral foram

confirmadas por diversas observações experimentais e astronômicas, como a curvatura da luz nas proximidades de corpos massivos (observado durante um eclipse solar) e o deslocamento para o vermelho das galáxias. Isso mostra como o conhecimento obtido através do modelo de Einstein pode ser validado empiricamente.

A capacidade de fazer previsões precisas e testáveis é um aspecto central da epistemologia científica. No caso do modelo de Einstein, a validade das previsões baseadas na relatividade geral contribui para a confiança e a aceitação da teoria como uma descrição precisa e abrangente do universo. Essa tese epistemológica complementa a compreensão das teses anteriores ao focar na capacidade preditiva e explicativa da teoria da relatividade geral. Ela destaca como a teoria não apenas fornece uma descrição matemática do espaço-tempo, mas também como as previsões derivadas dessa teoria têm sido confirmadas por observações e experimentos, demonstrando a robustez e a aplicabilidade do conhecimento cosmológico.

Teses Ontológicas

TO₁. O Universo é um Fluido de Estrelas.

Esta tese sugere uma analogia entre o comportamento do universo e o de um fluido. Em termos ontológicos, isso implica que a estrutura do universo pode ser descrita por propriedades semelhantes às de um fluido, como viscosidade e dinâmica. O modelo cosmológico de Einstein, especialmente com a inclusão da constante cosmológica, pode ser interpretado como uma tentativa de entender o universo de uma forma que leve em conta sua dinâmica e comportamento expansivo. Embora o modelo original fosse estático, a ideia de que o universo pode se comportar de maneira fluida é mais adequada ao entendimento moderno da cosmologia, onde o universo está em expansão e pode ter características dinâmicas complexas.

Considerar o universo como um fluido pode refletir uma visão da realidade em que o espaço-tempo não é estático, mas tem propriedades dinâmicas que podem ser análogas ao fluxo. Isso implica que a estrutura e a evolução do universo podem ser descritas de forma mais flexível e adaptativa, em vez de rigidamente definida.

TO₂. O Universo Encontra-se em Equilíbrio

No modelo cosmológico inicial de Einstein, a constante cosmológica foi introduzida para criar um universo estático e em equilíbrio. Esta tese reflete a visão ontológica de que o

universo é um sistema em equilíbrio, conforme a visão original de Einstein. Não encontramos, em seus textos e cartas, motivos meramente científicos para sua insistência original no caráter estático do cosmos. A inclusão da constante cosmológica (que será tratada na parte final deste ensaio) se mostrou um recurso *ad hoc* utilizado por um Einstein já convencido de que não existem mudanças no cosmo em larga escala.

A filosofia de Baruch Spinoza, que enfatiza a ordem e a harmonia do universo, influenciou a concepção de Einstein sobre o universo estático e em equilíbrio (Jammer, 2000). Espinosa via o universo como um todo ordenado e harmonioso, o que ressoou com a ideia de Einstein. A visão de um universo em equilíbrio reflete a ideia de que o cosmos pode ser descrito por uma ordem intrínseca e estática, em contraste com a visão moderna de um universo dinâmico e em expansão.

Tese Axiológica (única): O objetivo da cosmologia de Einstein é fornecer um modelo que dê conta da geometria e dinâmica do universo, considerando seus estados passado e futuro, levando em consideração as restrições de natureza epistemológica e ontológicas apresentadas anteriormente.

A tese destaca que o objetivo central da cosmologia de Einstein é criar um modelo que explique a geometria e a dinâmica do universo. Esse objetivo é fundamentado em uma perspectiva axiológica que valoriza a capacidade da teoria de descrever e prever aspectos fundamentais do cosmos. A tese reflete um valor fundamental da cosmologia, que é a capacidade de descrever a estrutura e a evolução do universo. A relatividade geral de Einstein, com seu foco na geometria do espaço-tempo e na dinâmica da expansão do universo, busca responder perguntas essenciais sobre a natureza do cosmos. Considerar o passado e o futuro do universo é crucial para uma compreensão completa da cosmologia. Isso implica um valor de abrangência e continuidade, onde o modelo cosmológico deve ser capaz de integrar a evolução do universo ao longo do tempo.

A tese sugere que o modelo cosmológico deve levar em conta as restrições epistemológicas e ontológicas. Isso implica que, ao formular um modelo, deve-se considerar não apenas o que é conhecido (epistemologia) e a natureza do universo (ontologia), mas também como esses aspectos influenciam o objetivo da cosmologia. A integração das restrições epistemológicas e ontológicas na formulação do modelo cosmológico demonstra um valor de coerência e consistência. O modelo não deve apenas explicar os fenômenos observados, mas também alinhar-se com as perspectivas filosóficas e conceituais sobre a natureza do

conhecimento e da realidade. Einstein se mostra, portanto, comprometido com a noção de verdade implicada pelas teses ontológicas e epistemológicas de seu modelo, tal como exigido de uma noção correspondentista de verdade.

2.3 – A lógica no modelo de universo de Einstein

O nível da lógica descreve os recursos metodológicos com os quais a unidade epistêmica se relaciona durante a atividade de resolução de problemas. Dentro da metodologia damos destaque à metodologia da construção da teoria da Relatividade Geral que, conforme descrito anteriormente, se realiza entre os anos de 1905 e 1915 com a tentativa de levar a formulação original, conhecida como “Relatividade Especial” a descrever o conjunto de operações algébricas necessárias para relacionar as coordenadas espaço-temporais de um mesmo evento medido por dois observadores distintos, quando existe movimento relativo acelerado entre eles. Um passo importante é dado com a formulação do princípio da equivalência entre referenciais acelerados e efeitos gravitacionais.

Nesse mesmo período Einstein se depara com importantes dados de natureza teórica: percebe que a velocidade da luz no vácuo não pode ser constante quando atuam campos gravitacionais (Einstein, 1911). Também se depara com o famoso problema teórico conhecido como “disco de Einstein”: é bem conhecida, na geometria Euclidiana, a constante que descreve a razão entre o comprimento e o diâmetro de um círculo, batizada pelos gregos com o número π . Seu valor dessa razão é o mesmo para qualquer círculo, não importa o seu tamanho. Uma vez que o disco entre em movimento rotacional, seu comprimento na direção tangencial se contrai, observado por um referencial inercial, o que não ocorre em sua direção radial, alterando a razão entre comprimento e diâmetro do disco para esse referencial. Tal problema teórico contribuiu para Einstein abandonar a descrição tridimensional e buscar, com a ajuda do, já citado, matemático Marcel Grossman, as geometrias diferenciais em mais de três dimensões espaciais, desenvolvidas por Gauss, Riemann, dentre outros, no século XIX.

O ano de 1915 marca o fim de um período de 10 anos bastante turbulento para Einstein, marcado por uma série de mudanças em suas equações de campos, que deixam de obedecer à exigência de estarem sujeitas a transformações lineares (o que era assumido em seu trabalho de 1905) e migram para um sistema de equações que permanece covariante mediante rotações do sistema de referências por velocidades angulares arbitrariamente grandes (Pais,

1982). A representação do espaço-tempo passa a incluir efeitos relativísticos não apenas mediante velocidades constantes entre referenciais, mas também curvatura mediante acelerações e, o que se torna equivalente, potenciais gravitacionais. A equação de campos da Relatividade Geral descreve a relação entre a distribuição de matéria e energia pelo espaço e sua curvatura em cada ponto pela expressão.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = (8\pi G / c^4) T_{\mu\nu}$$

No lado esquerdo da igualdade temos o chamado “Tensor de Ricci” ($R_{\mu\nu}$) que mede a curvatura do espaço-tempo em cada coordenada é o chamado “Tensor métrico” ($g_{\mu\nu}$) que descreve a métrica e, conseqüentemente, a geometria que deve ser aplicada a cada ponto do espaço. Com ele, medimos ângulos e distâncias entre dois pontos do espaço curvo. Desse modo, o lado esquerdo da equação descreve a curvatura da superfície de modo que seja compatível com as leis da Física. Do lado direito, observamos o “Tensor energia-momento” que mede os fluxos e densidades de energia e de momento em cada ponto do espaço. O produto entre as constantes (o qual é chamado de “constante de acoplamento gravitacional”) é obtido para o limite Newtoniano de baixos potenciais gravitacionais em que a equação se reduz à clássica equação de Poisson. A representação, portanto, obtida por Einstein é que a curvatura do espaço tempo, ponto a ponto, é determinada pela distribuição de energia e de momento pelo espaço.

O sistema de inferências na cosmologia de Einstein engloba o modelo de universo enquanto fluido, algo similar ao que chamaremos de um “gás de estrelas” por representar as condições de equilíbrio do sistema que são determinadas pela sua densidade de matéria. Seu conceito de densidade, porém, é estimado com base na distribuição de estrelas pelo espaço, desprezando demais agentes de menor relevância na gravidade, como os planetas. Ressaltamos também que intensas fontes de campo gravitacional, como buracos negros, matéria e energia escura, foram descobertos posteriormente e, atualmente, representam mais de 75% da densidade de energia do universo. Seu modelo de universo é tomado por estático e em equilíbrio por hipótese, quase de maneira axiomática, levando Einstein a postular a existência da constante cosmológica (λ) e suas propriedades, de modo a manter esse “grande fluido” em equilíbrio.

Um universo constituído desta maneira não teria um centro relativamente ao campo gravitacional. Deixaria de ter cabimento a hipótese de uma densidade a decrescer para o infinito espacial: pelo contrário, manter-se-iam constantes até ao infinito tanto o potencial médio como a densidade média. O conflito que verificamos existir entre a teoria de Newton e a

mecânica estatística não existe aqui. A matéria está em equilíbrio para uma certa densidade (extremamente pequena), não sendo necessária a intervenção de forças interiores (pressões) na matéria, para manter tal equilíbrio (Einstein, 1917, p. 228).

Observamos, contudo, que o “Einstein da posteridade” admite as soluções de universo em expansão e que já não há mais motivos para insistir na hipótese da constante cosmológica. Ela se mostra desnecessária e insatisfatória: insatisfatória por não evitar a instabilidade do universo estático proposto por ele e desnecessária à luz dos modelos dinâmicos, uma vez que o colapso gravitacional deixa de ser uma questão (Einstein, 1933). No seu primeiro modelo de universo, formulado em 1917, a constante cosmológica surge como uma possibilidade de resolver uma aparente inconsistência em sua equação de campos. Ao resolver a equação (1), ele obtém a seguinte expressão para a métrica (elemento de caminho) no espaço

$$ds^2 = (dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2) / (1 + (r / 2P)^2)^2 - c^2 t^2$$

Obtendo o seguinte sistema de equações, onde o raio de curvatura do universo é denotado por P (notação de Einstein):

$$1/P^2 = 0$$

$$3c^2/P^2 = \kappa \cdot \rho$$

Combinando as duas equações temos como resultado, para a densidade de matéria cosmológica, $\rho = 0$, em clara contradição com a lógica matemática e com o universo observado. A solução encontrada foi introduzir um termo a mais (λ) na equação de campos, que seja suficientemente fraco para não interferir nas soluções já encontradas para o movimento de Mercúrio, mas que seja significativo em escala cosmológica (atue significativamente em largas distâncias astronômicas). Sua equação, ajustada, assume a seguinte expressão.

$$(R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu}) - \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}$$

Com isso, suas soluções se alteram para:

$$1/P^2 = \lambda$$

$$3c^2/P^2 = -\lambda c^2 + \kappa \cdot \rho c^2$$

Combinando seus valores, obtemos a expressão para o raio P do universo:

$$P = 2 / \sqrt{\kappa \cdot \rho}$$

Sua solução depende, portanto, de um parâmetro empírico a ser determinado pelos astrônomos: a densidade de matéria ρ . Após a crítica de Friedmann e a apresentação de suas soluções, bem como o trabalho equivalente realizado por Lemaître, o fundador da Relatividade é convencido a abandonar sua solução, também influenciado pelo resultado empírico obtido por Hubble, em 1929 (Rodrigues, 2023). No seu breve artigo de 1933, Einstein reforça a importância desses três trabalhos e, em particular, que a interessante solução obtida Friedmann consiste em admitir que o raio P pode ser assumido na equação (1) como uma função do tempo P(t).

Tomando a constante de Hubble-Lemaître por h, e a razão entre o raio atual no universo e o raio em um instante de tempo no passado por $P/P_0 = A$.

Einstein define a relação $h = \frac{1}{A} \frac{dA}{dt}$

A expressão final obtida por ele é:

$$3h^2 = \kappa \rho c^2$$

Na qual ele conclui que a densidade de matéria ρ não depende da curvatura do universo, mas de sua taxa de expansão (expressa pela constante h), o que não significa, necessariamente, que sua curvatura seja nula, “entretanto, até o presente não existem indícios de sua existência (curvatura do espaço). De qualquer forma, ela pode ser substancialmente menor do que foi originalmente sugerido pela (minha) teoria original” (Einstein, 1933).

Finalizamos assim, a descrição dos componentes da metodologia do modelo de Einstein, que inclui sua base, representação, sistema de inferências e heurística. A **base** de sua teoria é composta de dados empíricos (medidas do periélio de Mercúrio, observações de eclipses solares, como o famoso de 1919), mas também de diversos dados teóricos obtidos do eletromagnetismo e da Relatividade Restrita, como a constância da velocidade da luz no vácuo e a invariância de sua velocidade mediante mudança de referenciais inerciais, resultado já obtido por Lorentz, Poincaré e até Maxwell, ainda no século XIX. A **representação**, tal como descrito no início deste ensaio, traduz a linguagem conceitual em que o conhecimento se expressa e se articula. A cosmologia de Einstein se constrói sobre a relação entre matéria

e a geometria do espaço-tempo, conforme descrita na sua teoria. Essa relação foi imortalizada na expressão: “o espaço-tempo diz à matéria como se mover; a matéria diz ao espaço-tempo como se curvar” (Wheeler; Ford, 1990).

O **sistema de inferência** da cosmologia Einsteiniana de 1917 consiste, finalmente, no seu modelo de universo: estático, finito, fechado em si mesmo, sem bordas ou fronteiras. A interação entre a matéria e a estrutura geométrica do espaço-tempo é assumida de forma axiomática, ainda que a curvatura do universo, como um todo, tenha sido modificada nos modelos posteriores. Einstein defende, inicialmente, a existência da constante cosmológica λ como recurso necessário para contrabalançar a atração gravitacional entre as estrelas e manter a estrutura global do cosmos em equilíbrio. É parte de seu sistema tratar o universo como um fluido sem pressão e, através dos efeitos das massas na estrutura do espaço, modelar sua geometria.

O primeiro **recurso heurístico** utilizado por Einstein consistiu na adoção da constante cosmológica, uma vez que ele foi capaz de identificar o primeiro dos problemas que se apresentariam diante de seu modelo: justificar como o cosmos possa se manter em equilíbrio uma vez que constatamos a atuação da força gravitacional entre as diferentes massas no universo. Diante das soluções expansionistas encontradas por Friedmann e por Lemaître, o criador da teoria da Relatividade, inicialmente, insiste em seu modelo, alegando que a propostas alternativas, ainda que matematicamente corretas, dificilmente correspondem à realidade física. Com as contribuições empíricas de Slipher e Hubble, todavia, admite que a constante cosmológica deve ser abandonada e aceita os modelos dinâmicos como as melhores representações do espaço físico.

Dado que a teoria nos leva a adotar soluções dinâmicas para a estrutura do espaço, não é mais necessário introduzir a constante universal λ , já que existem soluções dinâmicas da equação (1) do tipo (3a) para as quais $\lambda = 0$. Nos últimos tempos, a resolução do problema recebeu um forte impulso a partir de resultados empíricos da astronomia. As medições do efeito Doppler (em particular as de Hubble) das nebulosas extragalácticas – que foram reconhecidas como formações semelhantes à Via Láctea – mostraram que, quanto mais distantes essas formações estão de nós, maior é a velocidade com que se afastam. As investigações de Hubble também mostraram que essas formações estão distribuídas no espaço de maneira estatisticamente uniforme, dando apoio empírico à suposição teórica fundamental de uma densidade média uniforme da matéria. A descoberta da expansão das nebulosas extragalácticas justifica, portanto, a adoção de soluções dinâmicas para a estrutura do espaço – um passo que, até então, teria parecido um expediente justificado apenas por necessidade teórica. Assim, a teoria pode agora, sem a introdução de um termo λ , acomodar

uma densidade (média) finita de matéria ρ com P (e ρ) variando ao longo do tempo (Einstein, 1933, p. 46).

No texto acima podemos observar que o “Einstein da posteridade” desiste finalmente de sua concepção de universo em equilíbrio, acomodando os resultados empíricos do afastamento entre as galáxias às soluções de universo em expansão, reconhecidamente obtidas por Friedmann e Lemaître.

2.4 – A metametodologia na Cosmologia Relativística

A metametodologia, por sua vez, não tem por objeto a ciência em si, mas as próprias concepções de ciência. É nesse nível que realizamos a demarcação entre candidatos à concepção de ciência, utilizando as consagradas descrições da mudança científica (elaboradas por Popper, Kuhn, Lakatos, Laudan etc.) e buscamos avaliar, segundo a descrição que melhor descreve o episódio da história da ciência.

Na Cosmologia contida no artigo de Einstein de 1917, não encontramos os elementos necessários para que possamos classificá-la como um Programa de Pesquisa, no sentido Lakatosiano do termo. Em 1922 e 1924 o cientista soviético Alexander Friedmann apresenta, utilizando a mesma Teoria da Relatividade Geral, resultados dinâmicos que descrevem o universo em expansão. Após uma breve controvérsia entre ambos, Einstein admite as soluções matemáticas de Friedmann, embora desconfie do conteúdo físico delas. Os primeiros resultados empíricos, ainda que preliminares do ponto de vista cosmológico, são as medidas de redshift obtidas por Hubble em 1929. Einstein, então, reforça a necessidade de abandonar seu modelo inicial de universo, especialmente a constante cosmológica, um recurso *ad hoc* que compensaria os efeitos gravitacionais entre as estrelas, manifestando sua adesão completa aos modelos dinâmicos sobre a estrutura do cosmos.

Somos levados, então, a um aparente paradoxo: se o modelo de universo estático de 1917 não atende a todos os critérios Lakatosianos de um Programa de Pesquisa, uma vez que não apresenta todo um núcleo que será compartilhado por diferentes teorias cosmológicas, será que o mesmo não pode ser classificado como científico? Essa questão foi formulada em mais detalhes em outros trabalhos (Rodrigues; Chiappin, 2024) e envolve a difícil tarefa de delimitar, ao longo de uma atividade de reconstrução racional de algum episódio da história da ciência, a extensão do núcleo duro, cujas teses devem estar contidas em todas as teorias eu fazem parte do mesmo Programa de Pesquisa. Na cosmologia científica temos uma série de teorias que são elaboradas a partir de Friedmann e Georgies Lemaître, seja pelos

proponentes do Big Bang (Gamow, Alpher, Hermann) ou pelos defensores do Estado Estacionário (Bond, Goldi e Hoyle). O núcleo duro, compartilhado por essas diferentes teorias, contém elementos introduzidos por Einstein em 1917, mas também inclui a lei de Hubble-Lemaitre e, portanto, as “sementes” da expansão do Universo.

A solução que encontramos para essa dificuldade epistêmica é classificar o modelo de Einstein como um “Proto-Programa” de Pesquisa, uma vez que contribui com boa parte do núcleo que será construído e, poucos anos depois, compartilhado por uma sequência progressiva (tanto de ordem teórica quanto empírica) de teorias. No âmbito da Metodologia da Teoria da Ciência, a metametodologia é o nível em que avaliamos, não apenas a cientificidade de candidatos à teoria da ciência, como também em qual descrição podemos melhor acomodar o episódio histórico, ainda que a mesma MTC reserve outra discussão para a história, enquanto um nível autônomo dentro de sua estrutura.

História da Ciência

Dentro da estrutura da MTC temos o nível da história da ciência, que pode ser utilizada como recurso heurístico: quando o exame histórico nos permite sugerir componentes do nível da metafísica e da lógica, assim como contribuir na escolha e justificativa para concepções de ciência. Tal recurso à história é defendido por autores da virada historicista como Lakatos, Kuhn e Laudan, mas recusado por outros como Popper e Carnap. A tradição científica existente na cosmologia no início do século, por fim, nos mostra a insatisfação de Einstein com as cosmologias elaboradas anteriormente, até o final do século XIX. Nas duas primeiras páginas de seu texto (Einstein, 1917) é realizada a tarefa de desconstruir o “modelo cosmológico de Newton⁴”, que consistia num universo finito materialmente, mas infinito espacialmente e sem curvatura. Por marcar uma das mais radicais revoluções na história da ciência, a teoria (e, portanto, sua cosmologia) de Einstein busca maior ruptura do que continuidade com a mecânica clássica. Ainda que a ciência tenha passado por grandes alterações no século XIX, o “cenário cosmológico” no início do século XX ainda era o Newtoniano. Os trabalhos de Einstein e de Friedmann ocorreram antes mesmo da confirmação da existência de estruturas além da Via-Láctea.

⁴O “universo de Newton” é o termo utilizado por Einstein, se bem que Newton jamais modelou o universo dessa forma, isso é fruto da evolução ao longo de 200 anos da Física Newtoniana. Sua contribuição não foi muito além do que pode ser encontrado em cartas trocadas com o padre Benthán, na qual ele descreve uma distribuição infinita de matéria, ao longo de um espaço também infinito.

Por esse motivo tais autores são pioneiros da cosmologia científica, não havia uma “história cosmológica” para além dos trabalhos de Newton e algumas contribuições da Mecânica Estatística que pudessem ser por eles utilizados em seus modelos de universo.

Considerações Finais

Na atividade de reconstrução racional de episódios da história da ciência, muitas são as sutilezas e nuances que se apresentam nos “estudos de caso” realizados nas últimas décadas. A filosofia da ciência nos fornece importantes instrumentos metodológicos que podem ser utilizados em conjunto com a historiografia contemporânea. Com o exemplo utilizado neste ensaio, podemos ressaltar aspectos do modelo de universo concebido por Einstein em 1917, que não são suficientemente realçados apenas com os instrumentos concebidos por Lakatos, o que nos leva a complementá-lo com a Metodologia da Teoria da Ciência. Com a análise proposta pela MTC somos levados, no estudo de qualquer episódio histórico, a investigar os processos de construção e de desenvolvimento de uma unidade epistêmica, bem como de sua relação com dados empíricos ou teóricos. Também destacamos as teses metafísicas, de natureza ontológica, epistemológica ou axiológica contida na estrutura da MTC e que, em uma leitura Lakatosiana, diríamos apenas que compõem o núcleo duro de um Programa de Pesquisa.

Reforçamos novamente, à guisa de conclusão, que a estrutura da MTC não se propõe a estabelecer uma demarcação ou uma reconstrução racional alternativa aos monumentais trabalhos de Popper e Lakatos, por exemplo. O que ela se propõe a realizar é uma leitura complementar, que enfatiza alguns importantes questionamentos que o historiador e o filósofo da ciência podem levantar ao estudar um episódio histórico, como a cosmologia relativística e que podem não ser suficientemente enaltecidos pelos consagrados métodos de demarcação e reconstrução histórica da ciência.

Na releitura de qualquer episódio da história da ciência somos convidados pela MTC a investigar quais são as teses de natureza ontológica, epistemológica ou axiológica, também somos convidados a identificar a unidade epistêmica, sua relação com os dados empíricos e como ocorrem suas alterações ao longo do desenvolvimento de determinada teoria. Também podemos ressaltar seu enfoque na descrição de uma base, sistema de inferências e heurística, além da discussão metametodológica e histórica. Essa estrutura não se equivale aos clássicos elementos das epistemologias de Lakatos, Kuhn ou Laudan, por exemplo.

O modelo cosmológico de Einstein é, ao mesmo tempo, uma ruptura com as cosmologias anteriores (Newtonianas) e uma das aplicações da teoria da Relatividade Geral (unidade epistêmica) na qual dados empíricos, problemas teóricos e concepções de mundo se conectam e se permeiam. Esperamos que a utilização da MTC possa ter contribuído para identificar tais conexões e, humildemente acreditamos, possa servir para que colegas filósofos e historiadores possam utilizá-la para reconstruir outros episódios da historiografia das ciências.

Agradecimentos

O presente trabalho não recebeu financiamento de nenhuma agência de fomento.

Referências bibliográficas

ARTHURY, L. H. M.; PEDUZZI, L. O. Q. A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos: recepção de um texto para graduandos em física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 1–14, jun. 2013.

BRUSH, S. G. How cosmology became a science. *Scientific American*, v. 267, p. 62–70, 1992.

CHIAPPIN, J.R.N. *Duhem's Theory of Science: An Interplay between Philosophy and History of Science*. Ph.D thesis. Pittsburgh. University of Pittsburgh, 1989.

CHIAPPIN, J. R. N. Racionalidade, decisão, solução de problemas e o programa racionalista. *Ciência e Filosofia*, n. 5, p. 155–219, 1996.

CHIAPPIN, J. R. N.; LEISTER, A. C. Uma reconstrução racional do programa de pesquisa do racionalismo neoclássico: os subprogramas do convencionalismo/pragmatismo (Poincaré) e do realismo estrutural convergente (Duhem). *Trans/Form/Ação: Revista de Filosofia da Unesp*, v. 34, n. 2, p. 103–134, 2011.

EINSTEIN, A. Considerações cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral. In: EINSTEIN, A. *Textos Fundamentais da Física Moderna*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. Tradução do original alemão *Das Relativitätssprinzip*, 1917.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. *A evolução da física: dos primeiros conceitos à física moderna*. Tradução de Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

EINSTEIN, A. On the cosmological structure of space. In: O'RAIFEARTAIGH, C.; SMITH, F.; BARRETT, J. (ed.). *Einstein's Cosmology Review of 1933: A New Perspective on the Einstein–de Sitter Model of the Cosmos*. Dublin: Irish Academy Press, 2015. p. 1–25.

HACKING, I. *Representar e intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2012.

JAMMER, M. *Einstein e a religião*. Tradução de V. Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2000.

- KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária; Brasília: Editora UnB, 1982.
- KUHN, Thomas. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1978.
- LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (org.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.
- LAUDAN, L. *O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico*. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: Editora Unesp, 2011.
- LUCENA DA SILVA, Jojomar; CHIAPPIN, José R. N. “Gibbs’ rational reconstruction of thermodynamics according to the heuristic tradition of Descartes’ analytical method.” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 1, 2019.
- MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- PAIS, A. *Sútil é o Senhor: vida e pensamento de Albert Einstein*. Tradução de F. Parente; V. Esteves. Lisboa: Gradiva, 1982.
- PONTY, J. M.; MORANDO, B. *The rebirth of cosmology*. New York: Knopf, 1976.
- POPPER, K. *Textos escolhidos*. Rio de Janeiro: Contraponto; Editora da PUC-RJ, 2010.
- RODRIGUES, D.M. *As origens da cosmologia científica: uma reconstrução racional*. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.
- RODRIGUES, D.; CHIAPPIN, J. *As origens da cosmologia científica: uma reconstrução racional lakatosiana*. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 17, n. 1, 2024.
- WHEELER, J. A., & FORD, K. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: a Life in Physics*. New York: W. W. Norton & Company, 1990.

Danilo Rodrigues

Danilo Miranda Rodrigues (danilo.rodrigues@usp.br) é graduado em Física, mestre em ensino de Astronomia e em Filosofia pela Universidade de São Paulo, atualmente é aluno de doutorado do departamento de Filosofia da mesma instituição (FFLCH-USP), com ênfase em História e Filosofia da Cosmologia.

Jose Raymundo N. Chiappin

José Raymundo Novaes Chiappin (chiappin@usp.br) é doutor em Física (USP), Filosofia (University of Pittsburgh), Economia (USP) e Direito (USP). Professor e pesquisador do Departamento de Economia (FEA-USP) além de ministrar disciplinas e orientar pesquisadores pelo Departamento de Filosofia (FFLCH-USP).

Jojomar Lucena da Silva

Jojomar Lucena da Silva (jojomarls@gmail.com) é graduado em Física pela Universidade de Brasília (1999), mestre em Física pela Universidade de São Paulo (2002) e doutor em Teologia pela Pontificia Università della Santa Croce, de Roma, e em Filosofia pela Universidade de São Paulo. Atualmente é pesquisador do programa de pós-doutorado do departamento de filosofia da Universidade de São Paulo e bolsista do CNPq. Tem experiência na área de Filosofia e História da Ciência, com ênfase em Epistemologia.

Os textos deste artigo foram revisados por terceiros e submetidos para validação do(s) autor(es) antes da publicação