

Revisitando Duhem: quasares, cosmologia e a relação tripartite entre teorias e experimentos

Danilo Rodrigues, Jose R. N. Chiappin, Ramachrisna Teixeira, Jojomar L. da Silva

Universidade de São Paulo

Resumo

O presente ensaio destaca a figura do grande físico e filósofo da ciência Pierre Duhem, cujas contribuições anteciparam em mais de 50 anos alguns elementos das epistemologias de Popper, Kuhn e Lakatos. Duhem defendeu que o progresso na ciência não é adequadamente descrito como um simples confronto entre teoria e experimentos, mas em uma relação tripartite envolvendo a comparação entre teorias distintas e experimentos, atuando majoritariamente como instância de comparação e de escolha. Para ilustrar as teses de Duhem trazemos o exemplo das primeiras detecções de quasares e como essas detecções contribuíram decisivamente no, até então acalorado, debate cosmológico entre a teoria do Big Bang e a teoria do Estado Estacionário. A dinâmica por trás da variação na quantidade de quasares pelo Universo ao longo do tempo nos revelou que o mesmo é um sistema físico em constante mutação, característica dentre as mais belas previstas pela teoria do Big Bang e sem explicação no interior do modelo do estado Estacionário.

Abstract

This essay examines the work of the physicist and philosopher of science Pierre Duhem, whose contributions anticipated by more than fifty years several elements later developed in the epistemologies of Popper, Kuhn, and Lakatos. Duhem argued that scientific progress cannot be adequately described as a simple confrontation between theory and experiment. Instead, it involves a tripartite relationship in which competing theories are compared in light of experimental results, with experiments functioning mainly as a basis for comparison and theory choice. To illustrate Duhem's theses, we discuss the early detections of quasars and their role in the cosmological debate between the Big Bang and the Steady State theories. The observed variation in the number of quasars over cosmic time indicated that the Universe is a dynamically evolving physical system, a feature predicted by the Big Bang theory but not explained within the Steady State model.

Palavras-chave: Duhem; cosmologia; quasares; teorias.

Keywords: Duhem; cosmology; quasars; theories.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v7n1.49709](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v7n1.49709)

1 Introdução

A quase totalidade dos filósofos da ciência contemporâneos valorizam e incentivam estudos sobre a história da ciência como importante instrumento epistemológico e metodológico. Todavia, o cenário acadêmico ao longo dos últimos 150 anos em que esse campo de investigação se desenvolveu não foi sempre esse. É farta e abundante a utilização de exemplos históricos nas metodologias de pesquisadores como Imre Lakatos, Thomas Kuhn e Larry Laudan. Por outro lado, Karl Popper enfatizou mais a importância da lógica como componente de seu falseamento e, conseqüentemente,

de sua proposta de demarcação da ciência (ainda que também utilize extensamente a história da ciência em seus textos). Também podemos citar Rudolf Carnap e demais membros do círculo de Viena dentre aqueles que minimizaram a importância do componente histórico como elemento de confirmação ou refutação de suas concepções de ciência e de progresso científico. Em linhas gerais, existe uma vasta e merecida quantidade de trabalhos sobre tais autores. Ressaltamos a importância do período conhecido como “virada historicista”, que corresponde à década de 1960, com a publicação de importantes trabalhos de Kuhn,

Lakatos, Laudan, além de Paul Feyerabend onde a importância e o lugar dos episódios da história da ciência foram discutidos em diferentes contextos.

Entretanto, nos parece que outros autores não receberam o mesmo destaque na literatura acadêmica ao longo das últimas décadas, de modo que alguns componentes de seus trabalhos, recuperados e discutidos durante a virada historicista, se encontram atualmente quase esquecidos pelas comunidades científicas. Nos referimos particularmente ao físico e filósofo francês Pierre Duhem (1861-1916). Nos parece inquestionável a importância dos trabalhos de Duhem, especialmente por conter as sementes de notáveis discussões sobre a natureza da teoria física, sobre a relação entre experimentos e teorias, sobre a realidade de teorias e entidades de estudo da ciência, além de diversas outras questões que seriam largamente debatidas, não apenas na referida década de 1960 como ainda hoje.

O objetivo deste ensaio é mostrar que um aspecto importante da escolha racional entre teorias, contido nas epistemologias de Popper, Kuhn e Lakatos: a relação tripartite entre teorias distintas e a observação/experimentação está contida na obra de Duhem, revelando um importante elemento antecipatório de um componente metodológico dos três autores acima citados.¹ Duhem defende, cerca de 50 anos antes deles, que a história da ciência não corrobora uma visão, em certa medida ingênua e simplista, de falseamento entre teoria e observação. A atividade experimental não atua como elemento de confirmação e nem de falseamento em uma comparação dicotômica com as previsões de uma simples teoria, mas como elemento de escolha racional entre teorias com conteúdos empíricos distintos e passíveis de comparação.

Um episódio histórico recente que bem se insere nesse quadro é o das primeiras detecções dos quasares, também ocorridas na década de 1960

¹A relação tripartite, como substituição à dualidade teoria/experimentos já foi abordada no texto intitulado "Duhem como precursor de Popper, Kuhn e Lakatos sobre a metodologia da escolha racional de teorias: da dualidade à tripartite metodológica" [1]. O que esperamos neste presente ensaio é trazer argumentos adicionais e, principalmente, ilustrar as teses sobre o pensamento de Duhem com um estudo de caso, ocorrido no campo da Cosmologia Relativística.

no debate entre as mais antagônicas concepções de universo. Nesse período havia o modelo do Estado Estacionário, desenvolvido pelo trio composto por Hoyle, Bondi e Gold, além dos modelos de universo dinâmico, de onde podemos extrair seu exemplar mais famoso, o modelo do *Big-Bang*, elaborado por outro trio, formado por Gamow, Alpher e Hermann. Esse episódio é particularmente importante para avaliar a tese da relação tripartite de Duhem por conter seus principais elementos, a saber, envolver embrionários testes empíricos em cosmologia e a existência de duas fortes teorias, com famosos adeptos entre comunidades científicas rivais, num claro exemplo de teorias que, em seu amadurecimento, precedem as condições teóricas e tecnológicas necessárias para a elaboração de testes empíricos.

2 Duhem e sua influência nos filósofos historicistas

O primeiro dos autores citados em quem gostaríamos de destacar a influência de Duhem é Popper. Sua concepção de falseamento é comumente mal interpretada e, conseqüentemente, acaba sendo descrita sob certas caricaturas falseacionistas ingênuas. Por um lado, de fato, o autor associa a cientificidade à falseabilidade das teorias científicas. Somente são científicas, segundo Popper, as hipóteses que podem ser falseadas. Conseqüentemente, a corroboração de uma proposição científica é sempre temporária, enquanto o seu falseamento possui caráter definitivo. Por outro lado, o falseamento, para ele, não se completa com apenas um confronto direto e simples entre proposições teóricas e resultados experimentais. A relação é tripartite: somente a divergência entre teoria e resultados experimentais não é condição suficiente para o falseamento. É necessário que os enunciados que contradizem a teoria sejam instâncias corroborativas de outra teoria existente e formulada.

Os enunciados básicos aceitos constituem a base da corroboração das hipóteses. Se os enunciados básicos aceitos entrarem em contradição com uma teoria, só os tomaremos como fundamento suficiente para a refutação dela se, ao mesmo tempo, eles corroborarem uma hipótese refutadora [2].

Thomas Kuhn apresenta uma concepção sobre o progresso da ciência em nítida oposição a Popper em vários pontos, inclusive sobre a importância da análise histórico-crítica como meio para descrever e justificar o fenômeno das revoluções científicas, diminuindo a importância da lógica, mas valorizando o passado da ciência para justificar o papel epistêmico da comunidade científica e para descrever os períodos de ciência normal e de ciência revolucionária. Nos parece nítido, entretanto, que existam aspectos da atividade científica sobre os quais ambos concordaram: a relação tripartite, pelo menos superficialmente. Kuhn também descreve, ao analisar o passado da ciência, que não existe falseamento, e ele jamais utilizaria esse termo, sem a existência de uma teoria alternativa, que passará a ocupar a posição da teoria falseada. Tal posição nos parece bastante clara em Kuhn, especialmente por citações como a que apresentamos a seguir.

Tal como um carpinteiro que em seu ofício não se pode desfazer de sua caixa de ferramentas só porque ela não contém o martelo certo para fixar um prego em particular, o cientista não pode descartar a teoria estabelecida em razão de uma inadequação observada. Ao menos não até que surja outro meio de realizar sua tarefa. Na prática científica, os problemas efetivos de confirmação sempre envolvem a comparação de duas teorias entre si e com o mundo, e não a comparação de uma única teoria com o mundo. Nessas comparações triplíceis, a medição apresenta uma vantagem peculiar [3].

Imre Lakatos, em diálogo crítico com o falsificacionismo popperiano, apresenta a história da ciência enquanto competição entre Programas de Pesquisa, fazendo uma distinção mais refinada entre as instâncias de rejeição e refutação. Nos ressalta em sua proposta a ênfase dada para a coexistência entre Programas de Pesquisa e anomalias, afastando-se radicalmente de qualquer abordagem ingênua de falseamento. Lakatos busca desfazer parte da confusão existente entre leitores e comentadores da obra de Popper fazendo distinções entre classes de falseacionismos: Ingênuo, sofisticado e metodológico. O que descrevemos acima seria expressão do enunciado ingênuo, que, definitivamente, não corresponde ao pensamento Popperiano.

Muitas são as citações que corroboram, em Lakatos, a relação tripartite, entre teorias distintas

e a observação empírica, em que ocorre o falseamento e as competições entre diferentes Programas de Pesquisa. Ele se aproxima, todavia, mais de Kuhn e de Duhem do que de Popper, por visibilizar o caráter metodológico da utilização da história da ciência, tal qual enfatizado na citação abaixo.

Nenhuma experiência, nenhum relato experimental, nenhum enunciado de observação ou hipótese falseadora de baixo nível bem corroborada pode levar sozinha ao falseamento. Não há falseamento antes da emergência de uma teoria melhor. Mas nesse caso o caráter distintamente negativo do falseacionismo ingênuo desaparece; a crítica torna-se mais difícil, e também positiva, construtiva. Mas é claro que, se depender da emergência de teorias melhores, da invenção de teorias que antecipam fatos novos, o falseamento não será simplesmente uma relação entre a teoria e a base empírica, mas uma relação múltipla entre as teorias concorrentes, a “base empírica” original e o crescimento empírico resultante da competição. Pode dizer-se assim que o falseamento tem “caráter histórico” [4].

As breves citações acima tiveram por intuito mostrar a convergência entre as concepções de Popper, Kuhn e Lakatos sobre a natureza tripartite do falseamento na ciência. Aspecto ainda mais importante é realçar como tal posição já foi elaborada mais de 50 anos antes de seus trabalhos por Duhem. Sua concepção de história da ciência, elaborada no contexto do debate com Poincaré, se apresenta como um meio termo, que busca evitar incorrer em dogmatismo e, ao mesmo tempo, em um modelo empirista de conhecimento. Em linhas gerais podemos classificar sua visão sobre a história da ciência como continuísta, teleológica, cumulativa e convergentista para a verdade. Em Duhem temos que a análise lógica e o método experimental são instâncias insuficientes para explicar a escolha racional entre teorias científicas. Ele apresenta, então, a relação tripartite como substituição à dicotômica entre teoria e observação, assim como também já ressaltava a distinção entre as etapas da rejeição e da refutação.

Tal aspecto metodológico pode ser inferido como um corolário de sua tese da impregnação teórica de todo e qualquer dado experimental. Uma vez que não existe, segundo Duhem, rejeição de proposições isoladas, mas apenas de teorias como um todo, um sistema teórico, com sua

complexidade intrínseca, não é racionalmente rejeitado e descartado pelo cientista enquanto não houver outro sistema superior.

De um ponto de vista lógico, o princípio formulado por Carnot é incontestável; uma teoria física formalmente contradita por um fato bem estabelecido é uma teoria que seria absurdo defender; mas a história da ciência é tecida com os relatos das violências que este princípio sofreu; o espírito humano possui uma tal necessidade de agrupar os fatos da experiência em uma teoria que ele recusa sempre a abandonar um sistema contradito pela observação; ele multiplica as estratégias, os subterfúgios, as falsas explicações para contornar ou dissimular a objeção, preferindo manter uma teoria falsa do que ser condenado, abandonando-a, ao caos do empirismo. Se se decide rejeitar a hipótese controversa, é somente quando outra hipótese, mais geral, mais ampla, permitiu agrupar, em uma mesma síntese, os fatos que já se podia explicar, bem como aqueles que, até o momento, permaneciam inexplicados. Refutar uma ideia falsa de nada serve se não se proclama, ao mesmo tempo, a ideia correta que deve substituí-la [5].

Estabelecido esse contato entre Duhem, Popper, Kuhn e Lakatos, oferecemos nas próximas seções uma breve análise histórica da metodologia tripartite, onde buscamos verificar a relação entre teorias distintas e o “lugar epistêmico” ocupado pelos testes empíricos. O exemplo extraído é parte do desenvolvimento da cosmologia relativística, amadurecida após os modelos cosmológicos de Einstein, Friedmann e Lemaître, a qual chamaremos de Cosmologia Científica,² seguindo a notação utilizada por alguns pesquisadores em história e filosofia da Cosmologia, tais como Rodrigues (2023) [6], Merleau-Ponty e Morando (1976) [7] ou Koyré (1991) [8].

Nessa área existiam dificuldades muito peculiares que se apresentaram às primeiras tentativas de elaborar testes empíricos acerca da geometria e dinâmica do universo. De fato, ocupamos uma

²Em Rodrigues (2023) [6] há uma descrição detalhada sobre como historiadores divergem acerca do momento histórico mais apropriado para demarcar o suposto nascimento da Cosmologia enquanto ciência. Alguns citam o trabalho de Einstein, outros a detecção da Radiação Cósmica de Fundo (1965), outros apontam o período do Renascimento ou até a Grécia de Aristarco. Seguimos Kragh em apontar o trabalho de Einstein de 1917 como marco em que a Cosmologia passa a se tornar uma área da pesquisa científica.

porção ínfima desse grande sistema, atuamos e exercemos influência ativa em uma porção absolutamente reduzida se considerarmos esse sistema, que chamamos de universo, como um todo. A elaboração de modelos teóricos de universo certamente não ocorreu com o auxílio de testes empíricos preexistentes. A Cosmologia Científica parte da tese epistemológica de que a Relatividade Geral descreve a relação entre matéria e geometria do universo, de onde Einstein e Friedmann conceberam seus modelos de universo estático e dinâmico, respectivamente.

Em geral, há uma variedade de razões pelas quais o teste de uma teoria está longe de ser um procedimento simples. Não é necessário dizer que quanto mais longe do observador a informação chega, mais possibilidades existem para questionar os dados. Teorias relacionadas à astronomia extragaláctica e à cosmologia em particular, são, pela sua própria natureza, extremamente difíceis de serem submetidas a simples testes observacionais. Contudo, a diferença nesta área entre a cosmologia e as outras ciências é de grau, não de princípio [9].

Apenas algumas décadas após a elaboração dos modelos de universo citados acima, surgiram as primeiras elaborações de possíveis experimentos cosmológicos. Nos anos após a Segunda Guerra Mundial as diferentes teorias cosmológicas se colocaram em continuidade com o modelo de universo de Friedmann e com a lei de Hubble-Lemaître. Destacamos a existência, nesse período, da teoria do Estado Estacionário e da teoria do *Big-Bang* que, de diferentes formas, dividiam opiniões entre físicos e astrônomos.

3 Quasares no centro dos experimentos em Cosmologia

Muitos são os trabalhos que descrevem a descoberta da radiação cósmica de fundo, realizada por Penzias e Wilson em 1964 [10], como a primeira verificação empírica capaz de atuar decisivamente na disputa entre os dois modelos cosmológicos mais importantes da segunda metade do século XX: o *Big-Bang* (Gamow, Alpher e Hermann) e o Estado Estacionário (Hoyle, Bondi e Gold), uma vez que sua existência foi prevista nos trabalhos do primeiro trio, mas ignorada pelo segundo [10].

O universo realmente começou no *Big-Bang*, ou houve uma fase de contração anterior - um *Big Crunch* - que levou à altas temperaturas e densidades? O universo continuará a se expandir para sempre ou acabará entrando em colapso em um buraco negro? A criação do universo envolve elementos da teoria quântica de uma forma fundamental? Essas ideias agora dominam o pensamento físico. Que os cientistas consideram tais questões dignas de investigação séria é, em grande parte, uma consequência da descoberta da radiação cósmica de fundo, que transformou a cosmologia em uma ciência empírica [11].

Tal contribuição foi, de fato, importante para a consolidação do modelo de universo evolutivo, mas não única. Consideramos que a característica mais fundamental do Universo não se revelou a partir dessa descoberta, mas outra, ocorrida no mesmo período, mas que não recebe a mesma ênfase por parte de manuais em história da Cosmologia.³ A descoberta dos quasares (*quasi stellar radio sources*) nos revelou que o Universo é um sistema físico dinâmico, suas características e seu aspecto atuais são diferentes daqueles que apresentava no passado e, com boas razões, acreditamos que serão diferentes no futuro.

Antes de prosseguirmos, devemos reforçar o cuidado que deve ser tomado com a utilização de episódios isolados da historiografia científica como verificação de hipóteses filosóficas. Em particular, muitos são os autores que já alertaram para o cuidado que devemos ter ao invocar os chamados “experimentos cruciais” [4, 12, 13]; e não queremos elevar a importância da descoberta dos quasares a esse status. É a soma de contribuições independentes, poderes explicativos e preditivos e diversos outros componentes que levam a comunidade científica a escolher entre uma teoria em detrimento de outra [14]. Buscamos, por meio deste ensaio, justificar a importância dos quasares no debate cosmológico, ainda que outros componentes teóricos e empíricos também tenham sido importantes no interior do mesmo debate.

A descoberta da distribuição espacial dos qua-

sares contribuiu para fortalecer a teoria do *Big-Bang* e enfraquecer a teoria do estado Estacionário. Os quasares estão entre os objetos mais antigos do universo e, portanto, uma distribuição homogênea dos mesmos pelo espaço seria um importante suporte empírico para a hipótese de um universo espacialmente infinito e materialmente homogêneo e estacionário. Por outro lado, a presença de tais objetos, majoritariamente, nas regiões mais distantes, se configura um suporte empírico para a hipótese de um universo dinâmico e evolutivo, uma vez que os componentes do universo primordial se concentram atualmente nas regiões mais distantes que podemos alcançar, fenômeno que se explica pela expansão espacial sofrida pelo mesmo ao longo do tempo, ou seja, por sua evolução.

Tanto a teoria do *Big-Bang* quanto a do Estado Estacionário são, em uma leitura Lakatosiana, parte do desenvolvimento do Programa de Pesquisa de Friedmann-Lemaître, uma vez que partilham de um núcleo em comum [15]. Na investigação historiográfica da cosmologia torna-se particularmente sutil a investigação do lugar ocupado pelas contribuições empíricas, uma vez que os modelos de Einstein, De Sitter, Friedmann e Lemaître não analisam nem, tampouco, apresentam quaisquer dados empíricos para corroborar seus modelos de universo, são essencialmente trabalhos matemáticos sobre soluções das equações de campos relativísticas. Antes do desenvolvimento da radioastronomia e, conseqüentemente, do estudo dos quasares e outras fontes de rádio, a controvérsia entre os dois modelos cosmológicos recebia pouquíssimas contribuições empíricas, e mesmo assim estas eram dispersas e inconclusivas.

A principal característica dos vários testes observacionais foi a impossibilidade de discriminar claramente entre as duas teorias cosmológicas. Alguns dos testes favoreceram cada uma delas, mas nenhum deles esteve sequer perto de atuar crucialmente. Ainda não incluímos medições radioastronômicas, embora estes já tivessem entrado no debate cosmológico em meados da década de 1950. A radioastronomia foi capaz de determinar a questão de uma maneira muito mais direta e inequívoca do que as outras tentativas anteriores de teste. Em certo sentido foi a radioastronomia que resolveu a controvérsia cosmológica no que diz respeito às evidências observa-

³Tanto Brush (1992) [11] quanto Kragh (1996) [9] apresentam abordar a descoberta da RCF como evento muito mais decisivo do que a descoberta dos quasares enquanto corroboração da Teoria do *Big-Bang*. Acreditamos, por outro lado, que o aspecto evolutivo do Universo (uma vez que a distribuição de quasares pelo espaço varia com o passar do tempo) tenha ocupado um lugar epistêmico mais relevante do que a descoberta da RCF para a Cosmologia.

cionais [9].

Duhem consideraria natural e até previsível que a preparação e elaboração de experimentos sofisticados e reproduzíveis venha a ocorrer após o amadurecimento de duas teorias distintas, onde os resultados empíricos atuam mais como instância de escolha do que de criação de uma teoria física. Sua metodologia valoriza aspectos lógicos e também históricos. Em Popper encontramos a valorização da lógica, já em Kuhn se sobressai a importância da história da ciência. Lakatos faz uma tentativa de conciliação entre ambas. Todos combatem, de diferentes maneiras, uma concepção ingênua de indução. A leitura da história da cosmologia nos revela duas teorias distintas tanto em aspectos lógicos quanto em conteúdo empírico.

4 As primeiras detecções de fontes de rádio no universo

As galáxias emitem energia de diferentes formas, muitas delas se caracterizam como origens não-estelares, o que levou os astrônomos, especialmente na segunda metade do século XX a cunhar alguns termos para designar diferentes formas de detecção. As galáxias ativas apresentam diversas aparências, consequência de variadas formas de radiação que emitem para o espaço. Dentre as galáxias ativas podemos citar, além dos quasares, as radiogaláxias e as galáxias Seyfert. Os quasares são os mais luminosos objetos celestes que emitem energia de forma estável. Há fortes indícios de que sejam galáxias com buracos negros ativos em seus respectivos centros [16]. Quando descobertos, em 1961, chamaram a atenção pela emissão de radiação no intervalo de frequências das ondas de rádio, com aparência ótica de estrelas azuis.

Os quasares são objetos extremamente compactos e luminosos, emitem mais energia do que centenas de galáxias como a nossa. Emissão que equivale, aproximadamente, à de um trilhão de Sóis. Dados modernos confirmam que são intensas fontes de rádio e se afastam a imensas velocidades,⁴ acompanhando a expansão do Universo.

⁴Os quasares mais distantes apresentam velocidade de recessão de até dez por cento da velocidade da luz, em nosso referencial.

De uma estranheza inicial, as detecções independentes dessas grandes velocidades de afastamento revelaram que tão exóticos objetos celestes poderiam ser utilizados no efervescente debate cosmológico ocorrido na década de 1960.

As detecções de diferentes radiações eletromagnéticas vindas do espaço, inicialmente do Sistema Solar, se multiplicaram após a segunda guerra mundial. No ano de 1946, o cientista Robert Henry Dicke detecta emissões de micro-ondas vindas da Lua. Após 10 anos temos registros vindos do Laboratório de Pesquisa Naval em Washington que relatam detecção de micro-ondas vindas de Vênus, reforçando as já existentes suspeitas de um grande efeito estufa na atmosfera do Planeta. Os primeiros mapeamentos em busca de fontes de rádio realizados entre 1942 e 1945 destacaram particularidades incomuns na constelação de Cisne. Stanley Hey detecta uma estranha “mancha” na constelação, batizada como *Cygnus A*, que não revelou nada na região visível do espectro eletromagnético. Inicialmente termos como “radiofones” ou “rádio estrelas” foram usados indistintamente. Martin Ryle, com um grupo de colaboradores em Cambridge, identifica inicialmente cerca de 50 fontes de rádio na década de 1950. O número rapidamente aumenta para cerca de 450 quando publicam a Terceira Lista de Fontes de Rádio.

Até mesmo o nosso Sol é uma modesta fonte de rádio. Em 1958 os astrônomos de Cambridge detectam emissão da mesma radiação oriunda da anã-vermelha UV Ceti, provavelmente a primeira fonte de rádio detectada além do nosso Sistema Solar. Na década de 1960 podemos citar as fontes de rádio 3C48, estudada por Sandage, a dupla fonte de rádio conhecida por 3C273, descoberta por Cyril Hazard, além de 3C196 e 3C286, descobertas no mesmo período. Em 1964 o físico Hong-Yee Chiu, que trabalhava em Princeton sugere que seria impreciso chamar tais objetos de estrelas e cunha o termo *quasi-stellar sources*, expressão que rapidamente se transformou em “quasar”.

Esses misteriosos objetos, que emitem ondas de rádio, rapidamente se revelaram os corpos astronômicos de mais altos *redshifts*. Os desvios espectrais causados pelo efeito Doppler, uma vez aferidos, tornam-se medidores de velocidades radiais. Por um lado, devemos considerar que, ao

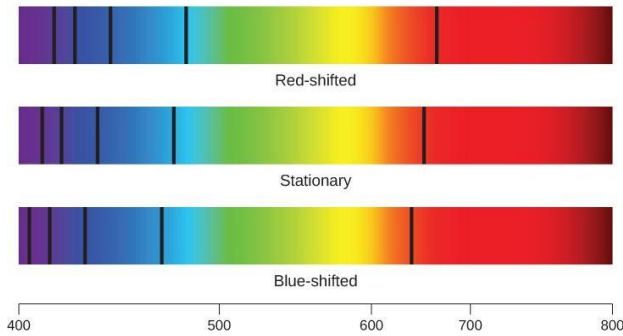


Figura 1: Exemplo de desvios espectrais causados pelo efeito Doppler, o espectro de absorção é deslocado para a região do vermelho quando há afastamento entre fonte e observador e deslocado para a região do azul quando há aproximação entre ambos. Crédito: ESA/Gaia/DPAC.

longo do século, houve astrônomos que interpretaram os *redshifts* astronômicos sem vinculá-los a movimentos relativos entre os astros [17]. Por outro, desde o início do século XX essa interpretação fez parte de importantes trabalhos pioneiros da moderna cosmologia [18, 19]) e, portanto, por mais que não fosse uma leitura tão hegemônica como atualmente, a medida de desvios Doppler cosmológicos adquiriu uma importância empírica para o desenvolvimento da área.

A interpretação dos *redshifts* observados em termos de velocidades radiais foi aceita pela maioria dos cientistas, mas também houve quem a negasse e defendesse interpretações alternativas que não envolviam um universo em expansão. Durante a década de 1930, sugestões de alternativas sem expansão eram comuns; no entanto, embora muitos astrônomos estivessem dispostos a considerar o universo em expansão não mais do que uma hipótese, os esquemas alternativos falharam em obter apoio geral [9].

A medição dos *redshifts* dos quasares (Figura 1), combinada com a utilização da lei de Hubble-Lemaître é um importante instrumento, ainda que não definitivo, para a determinação da distância desses objetos. A medida dos comprimentos de onda de uma fonte em repouso (λ_r) e da mesma em movimento radial de afastamento (λ_a) nos permite definir a grandeza conhecida como parâmetro de *redshift* (z), que mede a diferença relativa entre os dois valores,

$$z = (\lambda_a - \lambda_r) / \lambda_r. \quad (1)$$

A expressão relativística para o efeito Doppler-Fizeau [16] nos permite determinar o valor de

z diretamente da velocidade radial de afastamento/aproximação de uma fonte de radiação em relação à Terra pela expressão

$$z = \sqrt{(1 + \beta) / (1 - \beta)}, \quad (2)$$

onde $\beta = v/c$; v representa a velocidade de afastamento de uma fonte c é a velocidade da luz no vácuo.

Lembramos, por fim, que a expressão da lei de Hubble-Lemaître relaciona a mesma velocidade de afastamento, citada acima, com a distância que a fonte se encontra de nós. A combinação, portanto, de descobertas quase simultâneas, permite relacionar os desvios espectrais de objetos cosmológicos com suas distâncias. Os resultados dos desvios espectrais, aplicados aos quasares, revelaram as imensas distâncias e enormes velocidades radiais desses objetos. Mesmo para 3C273, um dos quasares mais próximos, $z \sim 0,16$ sua velocidade se revelou ser aproximadamente 40.000 quilômetros por segundo, e uma distância superior a 2 bilhões de anos-luz.

Um dos quasares de maiores distâncias já detectado foi designado por 0313-1806, com $z \approx 7,64$ encontrado à incrível distância de mais de 13 bilhões de anos-luz. Tais objetos, para serem detectados a distâncias tão grandes, são pelo menos centenas de vezes mais luminosos do que galáxias como a nossa, apesar de apresentarem reduzido volume em seu núcleo. Como a luz viaja a uma velocidade finita pelo espaço, observar um objeto a 13 bilhões de anos-luz significaria, em um universo estático, observar uma região do universo há 13 bilhões de anos atrás. Em um universo dinâmico, existe a dificuldade adicional de considerar a própria expansão do espaço enquanto a luz se propaga entre a fonte e o observador. Ainda assim, a observação de objetos, como 0313-1806, revel aspectos de um universo jovem, primordial.

Duhem é certamente um dos autores a evidenciar a “impregnação teórica” nos experimentos científicos. Sua leitura chama a atenção dos astrônomos para a sutil diferença entre medir desvios espectrais e interpretá-los como causados pelo efeito Doppler. Muito mais enfaticamente do que os grandes filósofos da ciência posteriores, sua formulação do conceito de “Teoria Física” explicita a inexistência de experimentos neutros ou supostamente imparciais.⁵

⁵Ainda que não traga exemplos extraídos diretamente

Um experimento em Física é a observação precisa de um grupo de fenômenos acompanhada da interpretação desses fenômenos. Tal interpretação substitui os dados concretos realmente recolhidos pela observação por representações simbólicas e abstratas que lhe correspondem em virtude das teorias admitidas pelo observador [12].

Duhem nos convida a observar que existe uma distinção entre a observação dos deslocamentos espectrais e a conclusão de que as galáxias estão se afastando de nós. É a teoria quem faz essa conexão. Outra discussão análoga que podemos elaborar é que a medida dos movimentos galácticos de expansão não implique imediatamente em uma expansão do Universo. Martin Ryle reconheceu a particularidade do aumento da quantidade de quasares a distâncias maiores [20]. O número de tais objetos é muito reduzido se considerarmos distâncias menores que um bilhão de anos-luz. Ele percebeu que essa estatística poderia apresentar implicações cosmológicas de primeira importância. As duas principais alternativas cosmológicas: teoria do *Big-Bang* e do Estado Estacionário, desde suas primeiras formulações na década de 40 poderiam admitir movimentos de expansão e afastamento das fontes de rádio. O que diferencia suas previsões está na distribuição espacial de tais objetos, de modo especial naquilo que vão dizer a respeito ao chamado Princípio Cosmológico.

5 Modelo de Universo segundo a teoria do Estado Estacionário

O Princípio Cosmológico é uma tese que foi incorporada à teoria do Estado Estacionário e que passou por algumas modificações ao longo do tempo. Na busca por suas raízes podemos regressar ao chamado “Princípio da localidade” ou “Princípio de Copérnico”. Trata-se da crença, ainda que muito bem fundamentada, de que não ocupamos algum lugar privilegiado no Universo. A primeira versão deste princípio é atribuída a Milne em um trabalho de 1933, que enuncia que o universo contém, em decorrência da necessidade da reprodutividade das leis físicas, a mesma den-

da Cosmologia, Duhem utiliza o exemplo da passagem de uma corrente elétrica que sensibiliza a agulha de um amperímetro analógico. O que, de fato medido, consiste no desvio de uma agulha, e não na passagem de uma corrente elétrica [12].

sidade de estrelas, não importa para qual direção olhemos.

A diferença entre o Princípio Cosmológico e o Princípio Cosmológico Perfeito, formulado por Bondi e Gold em 1948 (dois dos três proponentes da teoria do Estado Estacionário) é o acréscimo de que o universo não seja apenas homogêneo e isotrópico, mas também permaneça o mesmo com o passar do tempo. A exposição do tema, feita pela dupla naquele ano, foi apresentada num artigo intitulado *The steady-state theory of the expanding universe*. Logo nas páginas iniciais do texto, a dupla utiliza a necessidade da repetibilidade dos experimentos científicos como legitimação da formulação do Princípio Cosmológico Perfeito. Os autores não ambicionavam demonstrar tal princípio, o que não seria possível, mas corroborá-lo, tanto por argumentos metodológicos quanto por observações empíricas.

Essa combinação do princípio cosmológico usual e do postulado estacionário chamaremos de princípio cosmológico perfeito, e todos os nossos argumentos serão baseados nele. Postula-se que o universo seja homogêneo e estacionário em sua aparência em grande escala, bem como em suas leis físicas. Não afirmamos que esse princípio deva ser verdadeiro, mas dizemos que, se não for válido, a escolha da variabilidade das leis físicas torna-se tão ampla que a cosmologia não é mais uma ciência [21].

A adesão, mesmo que metodológica ao que parece, ao Princípio Cosmológico Perfeito, gera uma importante distinção entre o modelo de um universo homogêneo em grande escala e o cenário de um universo dinâmico, em evolução com o passar do tempo. Nesse ponto da controvérsia, alcançado no início da década de 1960, alguns testes empíricos se tornaram possíveis. Em paralelo com o desenvolvimento da cosmologia, e de maneira não completamente independente, as primeiras fontes de rádio foram detectadas e seus desvios espectrais medidos. Curiosamente, foram os objetos que apresentaram os maiores *redshifts*, o que os colocou entre os objetos mais distantes no universo.

Por que essas singulares fontes de rádio se encontram apenas a grandes *redshifts*? De acordo com o Princípio Cosmológico Perfeito, deveríamos esperar que tais objetos estivessem esparlhados homogeneamente a diferentes distâncias

de nós. No modelo do *Big Bang*, por outro lado, o universo apresentaria sua evolução ao longo do tempo. Na medida em que se expande e se resfria, o modelo prevê que sua estrutura e composição interna se modifiquem. Os quasares seriam, portanto, objetos característicos do universo “jovem”, típicos de seus primeiros bilhões de anos. Medições mais precisas e refinadas seriam, portanto, elementos empíricos que poderiam auxiliar na comparação entre as condições explicativas e preditivas dos dois modelos cosmológicos.

6 Distribuição dos Quasares em um Universo em expansão

No ano de 1953 os astrônomos Walter Baade e Rudolph Minkowski, que trabalhavam nos observatórios de Monte Wilson e Palomar, respectivamente, apresentaram uma importante confirmação empírica, desvendando a natureza de uma conhecida fonte de rádio, chamada *Cygnus A*. Sua localização não apenas se revelava extragaláctica como também se mostrou ser o produto da colisão entre duas galáxias preexistentes.

Na escala de tempo cósmica, as colisões de galáxias são um fenômeno bastante frequente nos ricos aglomerados de galáxias. No que diz respeito às estrelas dos sistemas em colisão, tal colisão é absolutamente inofensiva. A distância média entre duas estrelas é tão grande que as duas galáxias penetram uma na outra sem quaisquer colisões estelares. A situação é muito diferente para o gás e a poeira incorporados nos dois sistemas. Devido aos caminhos livres muito mais curtos das partículas de gás e poeira, a colisão das duas galáxias significa uma colisão real do gás e da poeira incorporados, que são aquecidos a temperaturas muito altas, uma vez que as velocidades de colisão variam de centenas a milhares de quilômetros por segundo. É óbvio que este comportamento do gás e da poeira proporciona um belo teste à nossa hipótese de que as duas galáxias que identificamos com a fonte de rádio *Cygnus A* estão na verdade em colisão; pois deveríamos esperar um espectro muito incomum para a nossa nebulosa [22].

Uma vez que a natureza das fontes de rádio começava a se revelar, observamos uma atuação mais direta de Martin Ryle e a relação entre esse episódio e a relação tripartite proposta por Duhem. No mesmo período em que se ama-

durem dois modelos cosmológicos, uma melhor compreensão dos quasares e de demais fontes de rádio extragalácticas leva a indícios de que o universo em larga escala é, atualmente, diferente do que foi no passado. Resultados empíricos atuam, portanto, mais como instrumentos de comparação entre os modelos do que como ferramentas de formulação de qualquer modelo teórico.

Em 1955, temos a publicação do artigo intitulado *The spatial distribution of radio stars* de Martin Ryle, onde aponta que a distribuição das fontes de rádio no universo como um critério de escolha entre os dois grandes modelos cosmológicos. Nesse texto observamos a citação direta ao modelo do Estado Estacionário e indireta aos modelos de “universo evolucionário”. Reforçando a posição dos dados empíricos na relação tripartite, como critério racional de decisão entre modelos teóricos.

Se esta interpretação estiver correta, as observações fornecem evidências claras de que as regiões distantes diferem daquelas na vizinhança da Galáxia; tal resultado é incompatível com as previsões das teorias de estado estacionário da cosmologia propostas por Bondi e Gold e Hoyle, mas pode ser interpretado em termos de teorias evolucionistas. [20]

Num artigo de 1961, escrito em coautoria de W. Clarke, observamos que Ryle aponta a existência de diferentes modelos cosmológicos. Invoca o modelo de universo dinâmico como o universo concebido por Einstein – De Sitter, de onde deriva o futuro modelo do *Big-Bang*, além de reconhecer a presença de tantos outros. O que nos chama mais a atenção, entretanto, é que o artigo se propõe apenas a mostrar como as observações cosmológicas e, em particular, a distribuição dos quasares, preferencialmente a grandes distâncias, se opõe ao modelo do estado Estacionário. Nos parece que Ryle se mostra particularmente determinado a “derrotar” o modelo do Estado Estacionário, mais do que alcançar qualquer outro objetivo. Abaixo extraímos citação de seu texto de 1961.

Nenhuma tentativa foi feita aqui para fornecer uma explicação para as observações em termos de um modelo alternativo e é evidente que a introdução das mudanças evolutivas que parecem ser necessárias tornará difícil a seleção de um modelo único. Estas observações parecem, no

entanto, fornecer provas conclusivas contra o modelo de estado estacionário [23].

Mais do que desvendar a natureza dos quasares, os mesmos passam a revelar, neste período, como podem contribuir também para o debate cosmológico, aumentando o interesse de diversos astrônomos pelos mesmos, especialmente no que diz respeito à disputa entre os dois grandes modelos cosmológicos.

A descoberta de quasares com seus grandes desvios para o vermelho e correspondentes emissões de radiação visível e ondas de rádio sem precedentes gerou uma ampla gama de investigações observacionais e teóricas, bem como uma infinidade de conferências, em particular a série de Simpósios do Texas sobre Astrofísica Relativística e Cosmologia. Motivados pela possibilidade de estender a relação de Hubble a desvios para o vermelho mais altos e determinar o valor da constante de desaceleração, q_0 , por anos houve uma intensa competição para encontrar os maiores desvios para o vermelho [24].

Muitos foram, portanto, os astrônomos que relacionaram os enormes *redshifts* dos quasares com a expansão do universo. A natureza e a distribuição destas exóticas fontes de rádio pelo espaço passou a ocupar lugar central na controvérsia entre os diferentes modelos cosmológicos que já vinham sendo elaborados, ainda que carecessem de confirmação empírica mais robusta.

7 Confirmações independentes e as implicações cosmológicas

Entre 40 e 50 anos após os primeiros trabalhos de Einstein e Friedmann emerge o período com as maiores e mais robustas confirmações empíricas na cosmologia. Dentre elas devemos incluir a abundância de elementos químicos, as medições da radiação cósmica de fundo e, como destacamos ao longo de todo esse ensaio, a distribuição de quasares pelo espaço. As sutilezas históricas nos mostram nuances que podem, muitas vezes, não ficar claras em um olhar mais superficial. De início houve confusões entre termos como rádio galáxias, rádio fontes e quasares. A maioria das galáxias que conhecemos possui *redshift* abaixo de 0,2. Quase todas essas galáxias estão locali-

zadas dentro de uma esfera de raio 1200 Mpc.⁶ Se os quasares participam da expansão do Universo, seus enormes *redshifts* e brilhos aparentes indicam que são os objetos mais luminosos e mais distantes do universo observacional. [25]. Em um interessante artigo de 1966, Sciamia e Rees, antigos defensores do estado estacionário, apresentam o que consideram o mais decisivo argumento contra essa teoria: “o objetivo deste relatório é apontar que as recentes medições dos desvios para o vermelho dos quasares fornecem a evidência mais decisiva obtida até agora contra o modelo do estado estacionário do universo” [26].

Se a distribuição dos quasares pelo espaço é indicativa de um universo dinâmico e evolutivo, a distribuição dos quasares é, ao mesmo tempo, um experimento empírico cosmológico. Desde o trabalho de Sciamia e Rees, esses objetos cosmológicos de características tão peculiares continuam sob as lentes dos astrônomos, dadas as possibilidades de revelarem aspectos importantes acerca da evolução do universo em diferentes momentos de sua história. Reforçamos ao longo desde ensaio que a inhomogeneidade dos quasares no espaço e, não menos importante, no tempo, são evidências muito fortes contra o Princípio Cosmológico Perfeito e, conseqüentemente, contrárias ao modelo do Estado Estacionário.

Grande parte do atual cenário cosmológico que conhecemos passou a se revelar à ciência apenas no início do século XX. A existência de outras galáxias é uma hipótese que ganha força após as medidas de velocidades radiais de alguns desses astros por Vesto Slipher (1917) [18] e o artigo de Hubble (1923), ao apresentar uma estimativa para a distância até a nebulosa de Andrômeda. Trabalhos anteriores não apresentavam a força dos argumentos empíricos e mesmo tais trabalhos não pretendiam se tornar argumentos definitivos. No artigo de 1931 [19], Hubble e Humason apresentam uma relação empírica entre distância e aparente velocidade de recessão sem tirar conclusões sobre as “implicações cosmológicas” de seu trabalho, cientes da existência de uma nascente controvérsia de natureza cosmológica e dos impactos que seriam causados pela recente relação empírica, que, em 2018, passou a ser chamada

⁶1 Mpc representa a unidade de distância mega-parsec, que equivale a um milhão de parsecs. Cada parsec equivale, aproximadamente, a 3,2 anos-luz de distância.

de Lei de Hubble-Lemaître, pela União Astronômica Internacional. É nesse contexto que devemos inserir as descobertas dos quasares e não em um anacrônico movimento em retrospectiva, analisando sua importância para a cosmologia à luz do cenário do século XXI onde a hipótese do universo em expansão se mostra relativamente bem consolidada.

Do ponto de vista tecnológico temos a construção acelerada dos imensos telescópios nos últimos 200 anos. Os efeitos da absorção luminosa em nossa atmosfera impõem a construção de telescópios no solo que operam, principalmente, no intervalo de luz visível e nas ondas de rádio. Para a detecção dos demais comprimentos de onda de origem astronômica, fomos levados a construir telescópios que operam além de nossa atmosfera. O telescópio Hubble foi o primeiro grande telescópio a entrar em operação no espaço. Posteriormente foram lançados muitos outros, como o Kepler e o James Webb, além do telescópio espacial Gaia, que recentemente forneceu seu terceiro *release* de dados, o que promete novamente revolucionar nossa compreensão da Via-Láctea e do universo como um todo, uma vez que há uma enorme quantidade de dados, obtidos com precisão inédita, a ser disponibilizada para pesquisas científicas nos próximos anos. Já no segundo *release*, o telescópio Gaia forneceu a posição e magnitude de cerca de 500 mil quasares. Apesar dos objetivos desse instrumento estarem mais direcionados a medidas na Via-Láctea, é inegável admitir as implicações cosmológicas de seus resultados, para o presente e para o futuro da astronomia como um todo.⁷

O que consideramos ser, provavelmente, o principal argumento empírico no debate cosmológico, se revela de uma maneira absolutamente bela à luz dos dados fornecidos pelo Gaia: o universo se transforma ao longo do tempo, contrariando a tese do Princípio Cosmológico Perfeito. A evidência mais concreta desta transformação em larga escala deste enorme sistema físico é a população de quasares. Ao “voltar no tempo” em observa-

⁷Para além da Cosmologia, o primeiro *release* do telescópio Gaia (2016) forneceu posições e magnitudes para mais de um bilhão de fontes luminosas, o segundo (2018) forneceu mais de um bilhão de medidas de paralaxes estelares. O terceiro, disponibilizado em duas partes (2020-2022) forneceu posições e magnitudes para cerca de 1,8 bilhão de estrelas

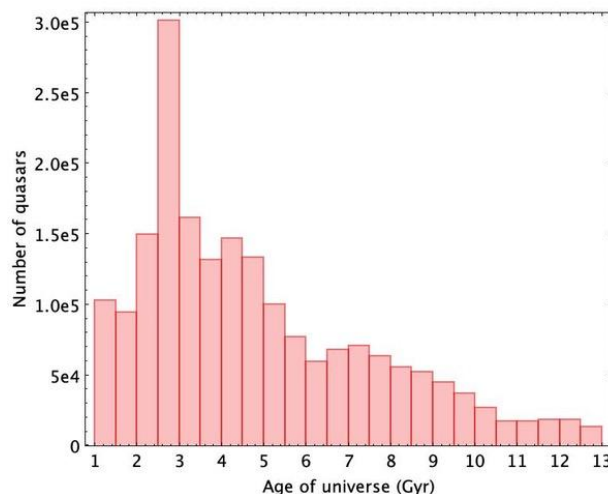


Figura 2: Histograma representativo do número de quasares existentes em função da idade do Universo (desde seu início). No eixo vertical os valores estão em unidades de 10^5 e, no eixo horizontal, a legenda representa uma escala em termos de Giga-anos (10^9 anos) desde o início da expansão do Universo. Crédito: ESA/Gaia/DPAC.

ções de alvos distantes, o Gaia nos revela que a população de quasares vem diminuindo. O gráfico apresentado na Figura 2, foi construído a partir de dados coletados pelo telescópio Gaia.

No contexto de um modelo de universo em constantes mudanças, é natural que a quantidade de quasares varie com o passar do tempo. Muitos desses núcleos ativos de galáxias se formaram no universo “jovem” e já se extinguiram. A população desses astros atingiu seu pico em, aproximadamente, 3 bilhões de anos após o *Big-Bang*.⁸ O histograma da Figura 2 nos parece trazer um argumento extremamente belo e elegante, pouco enfatizado pela recente historiografia da cosmologia: a dinâmica na população dos quasares apresenta enormes implicações cosmológicas. Os dados extraídos do terceiro *release* do telescópio espacial Gaia colocam os quasares em destaque novamente, não apenas pela questão cosmológica, mas também para uma utilidade astrométrica fundamental.

Uma outra novidade é o conteúdo extra-galáctico desse *release* (o terceiro). São 1,9 milhão de quasares com *redshifts* e brilhos sendo que para 60

⁸Após o *Big-Bang* ou, pelo menos, após o início da expansão do espaço-tempo, segundo modelos de universo em expansão que não creditam seu início a uma explosão há cerca de 14 bilhões de anos. Num caso ou no outro, Ainda assim estamos diante de uma evidência contrária ao modelo de um cosmos constante no tempo.

mil deles foram detectadas as galáxias hospedeiras e para 15 mil delas foram determinadas características morfológicas. Além disso, foram observadas 2,9 milhões de galáxias e para 800 mil delas pudemos obter uma boa solução para o perfil de brilho e parâmetros morfológicos. As posições dos quasares observados são essenciais na materialização do *International Celestial Reference System*, que antes das observações Gaia era materializado por apenas pouco mais de 200 quasares observados em rádio [27].

Com uma quantidade muito maior e mais precisa de dados sobre as coordenadas de quasares, as informações podem se somar para construir uma base mais sólida para um sistema cosmológico de referência. Nesse sistema de referência (ICRS), os quasares são importantes parâmetros para a determinação das demais coordenadas espaciais pois, uma vez que se encontram a enormes distâncias, seus movimentos próprios podem ser desprezados. Além disso, no modelo cosmológico mais aceito, os quasares têm apenas movimentos na direção radial. As retas unindo o baricentro do sistema solar aos quasares são as direções mais “fixas” que podemos materializar e acessar nos dias de hoje (Figura 3).

Consideramos, por fim, que estamos diante de um interessante exemplo das sutis relações entre modelos teóricos, resultados empíricos e desenvolvimentos tecnológicos. O avanço nos desenvolvimentos tecnológicos nos permitiu conhecer melhor os quasares e, conseqüentemente, avaliar com melhor precisão os modelos de universo dinâmico ou estático. Um último olhar Duheni-ano para a cosmologia relativística se mostra de grande proveito, no intuito de enriquecer a análise da disputa que se sucedeu entre os modelos ao longo do século XX e que, tampouco, podemos dizer que esteja definitivamente encerrada. Duhem nos lembra que não se testa isoladamente uma teoria física, mas toda a sua estrutura, incluindo conexões entre suas partes.

Na cosmologia, houve tentativas, algumas até ad hoc, de “salvar” o modelo de universo estático, tentativas fracassadas e que não evitaram que todo o modelo acabasse por perder credibilidade ao perder seus poderes preditivo e explicativo, à medida que os astrônomos passaram a melhor conhecer a natureza dos quasares e de outros exóticos objetos cosmológicos. A noção de falseamento empírico se mostra mais apropriada

quando aplicada a estruturas teóricas mais amplas, e não a proposições simples entre duas grandezas físicas. Diversos foram os argumentos empíricos utilizados na controvérsia entre os modelos cosmológicos, antes que um seja abandonado pela maior parte dos pesquisadores envolvidos na questão.

A física não é uma máquina que se deixa desmontar. Não se pode experimentar cada parte separadamente e esperar, para ajustá-la, que sua solidez tenha sido minuciosamente controlada. A ciência física é um sistema que se deve tomar por inteiro. É um organismo que não se pode fazer operar sem que as partes mais remotas desse todo estejam envolvidas, algumas mais, outras menos, mas, em algum grau, todas. Se algo não vai bem, se algum desconforto é revelado em sua operação, é a partir do efeito produzido sobre todo o sistema que o físico tem que adivinhar o órgão que precisa ser corrigido ou modificado, sem que seja possível isolar e analisar o órgão separadamente [12].

Duhem já nos chamava a atenção, portanto, para observarmos que a historiografia da ciência não nos apresenta exemplos de falseacionismos ingênuos de proposições isoladas. As primeiras detecções dos quasares não ocorreram com a expectativa de contribuir para o debate cosmológico. Posteriormente foram bem acomodados no interior de uma estrutura teórica que prevê um universo dinâmico, que altera sua geometria e constituição com o passar do tempo. A redução no número de quasares ao longo dos últimos bilhões de anos certamente está dentre os mais fortes argumentos contra a teoria do Estado Estacionário, ainda assim foram necessários outros resultados empíricos para encaminhar uma resolução neste importante debate cosmológico.

8 Considerações Finais

A historiografia recente da cosmologia relativística nos mostra algumas das principais dificuldades e erros que se pode cometer em tentativas ingênuas e simplistas de se estabelecer uma “ordem epistêmica” entre a formulação de teorias e realização de experimentos empíricos. A impossibilidade de elaborar experimentos de abrangência cosmológica não impediu cientistas como Einstein e Friedmann de elaborar modelos de universo,

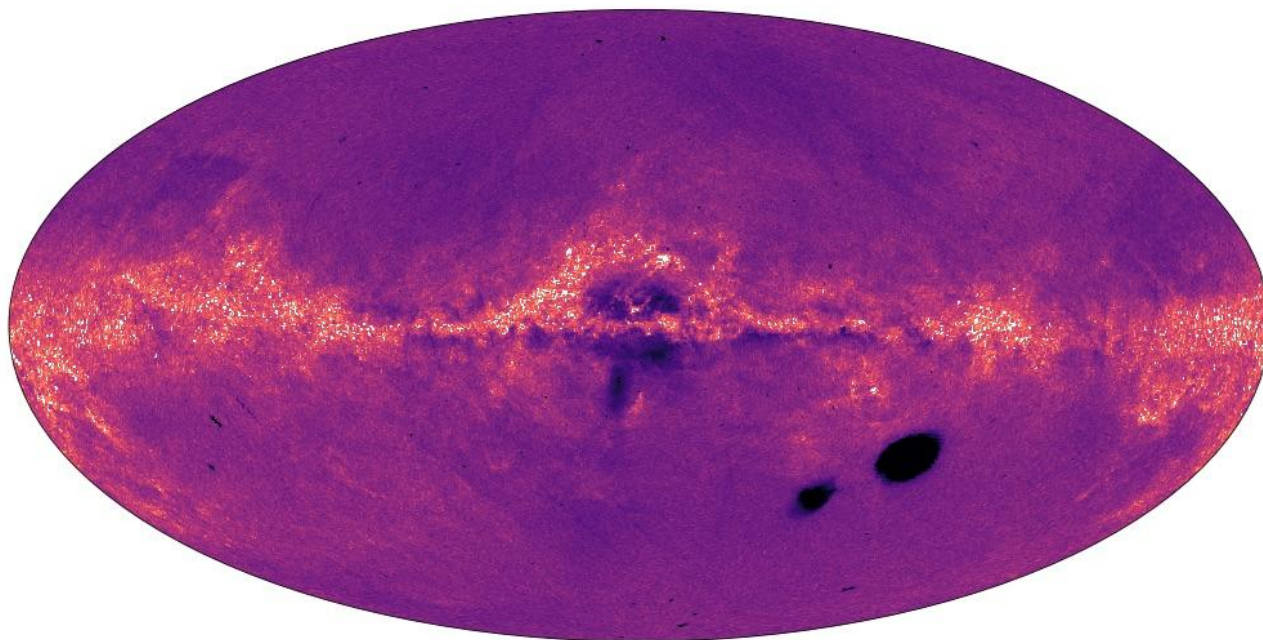


Figura 3: Distribuição de candidatos a quasares em coordenadas galácticas (*release 3*). Regiões mais escuras correspondem a maior densidade de objetos. As duas manchas escuras abaixo à direita são as regiões das nuvens de Magalhães que foram subtraídas na figura. Crédito: ESA/Gaia/DPAC.

buscar determinar sua forma e sua idade. Mesmo em linhas mais gerais, a Teoria Geral da Relatividade não foi construída sobre o “edifício” de experimentos empíricos, ainda que eles tenham importância na consolidação e credibilidade diante da comunidade científica internacional. A própria concepção de experimentos depende, em alguma medida, dos instrumentos matemáticos acessíveis ao cientista e de uma solidez conceitual teórica, que engloba valores como poder preditivo e poder explicativo. Essa dificuldade de ordem epistêmica, bem como algumas de suas consequências mais imediatas, foi apontada por Duhem ao longo de sua vasta produção intelectual.

Muitos historiadores ressaltam a descoberta da radiação cósmica de fundo em 1965, tornando-a equivalente aos criticados “experimentos cruciais” na história da ciência. Sem deixar de reconhecer a importância deste episódio como uma importante argumentação empírica do modelo do *Big Bang*, reforçamos que a distribuição dos quasares pelo universo se apresenta como uma evidência empírica extremamente importante em favor do modelo de Universo dinâmico e evolutivo, relevando aspectos de um universo jovem, que poderiam ser comparados com previsões teóricas dos diferentes modelos. Qualquer tentativa de eleger um único experimento como “crucial” no de-

bate cosmológico carece de fundamento histórico. As detecções dos quasares se configuram dentro da classe de experimentos empíricos que, desde sua concepção, são conduzidos e direcionados por modelos teóricos preexistentes, violando teses de neutralidade e imparcialidade empíricas alegadas por diferentes modalidades de empirismos ingênuos.

A importância de experimentos concebidos com o intuito de possibilitar a comparação de diferentes teorias é um aspecto muito presente na descrição Kuhniana do desenvolvimento da ciência, assim como na narrativa Lakatosiana e, em menor medida, também nos textos de Karl Popper. Nos chama a atenção, todavia, que as bases dessa relação tripartite já se encontravam, mesmo que de forma embrionária, nos trabalhos de Duhem. Ressaltamos também, à guisa de conclusão, que mesmo os mais recentes desdobramentos da astronomia observacional, munidos pelos impressionantes registros que nos foram fornecidos pelos telescópios espaciais, como o Gaia, aparentemente reforçam a tese do velho sábio francês, uma vez que aparentam reforçar, cada vez mais, os indícios de que somos parte de um universo dinâmico e evolutivo, servindo como elementos corroborativos de uma dentre duas teorias cosmológicas preexistentes, e não como elemento epis-

temológico da construção de um novo paradigma cosmológico. Como um dos principais elementos empíricos nesse grande modelo do *Big-Bang* temos os quasares, que não apenas foram importantes no período mais controverso do debate, como ainda hoje merecem destaque, com potencial de contribuir para a construção de um sistema de referência inercial e aumentar nossa compreensão acerca do Universo atual e passado.

Sobre os autores

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

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)

Ramachrisna Teixeira (rama.teixeira@iag.usp.br) é Professor Associado do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). Tem Graduação em Física pela USP, Mestrado em Astronomia pelo IAG-USP, Doutorado em Astronomia e Astrofísica pela Universidade de Bordeaux I (França) e Livre Docência pelo IAG-USP. É membro ativo do Gaia Data Processing and Analysis, atuando no grupo Extended Objects - EO - DU470.

Jojomar Lucena da Silva (jojomarls@gmail.com) é graduado em Física pela Universidade de Brasília (1999), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (2002). É 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.

Referências

- [1] J. R. N. Chiappin e C. Leister, *Duhem como precursor de Popper, Kuhn e Lakatos sobre a metodologia da escolha racional de teorias: da dualidade à triadialidade metodológica*, *Veritas: Revista de Filosofia da PUCRS* **60**(2), 45 (2015).
- [2] K. Popper, *Textos Escolhidos*. (Contraponto, 2010).
- [3] T. S. Kuhn, *O Caminho desde a Estrutura* (Editora da UNESP, 2006).
- [4] I. Lakatos e A. Musgrave, *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*, *Cultrix: EDUSP* (1979).
- [5] P. Duhem, *Les Théories de la Chaleur-II. Les créateurs de la Thermodynamique*, *Revue des Deux Mondes* 380–415 (1895).
- [6] D. Rodrigues, *Uma reconstrução racional da cosmologia científica*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo (2023).
- [7] J. M. Merleau-Ponty e B. Morando, *The Rebirth of Cosmology* (Editora Knopf, 1976).
- [8] A. Koyré, *As etapas da cosmologia científica* (Estudos de história do pensamento científico, 1991).
- [9] H. Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton: Princeton University Press, 1996).
- [10] A. K. T. Assis e M. C. D. Neves, *History of the 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson*, *Apeiron* **2**(3) (1995). Disponível em <https://cosmology.info/apeiron/pdf/v02no3/v02n3ass.pdf>, acesso em mar. 2026.
- [11] S. Brush, *How Cosmology Became a Science*, *Scientific American*. **267**(2), 62 (1992).

- [12] P. Duhem, *A teoria física: seu objeto e sua estrutura* (EdUERJ, 2014).
- [13] C. G. Hempel, *Philosophy of natural science* (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1966).
- [14] T. S. Kuhn, *A estrutura das revoluções científicas* (Editora Perspectiva, 1997).
- [15] D. Rodrigues e J. Chiappin, *As Origens Da Cosmologia Científica: Uma Reconstrução Racional Lakatosiana*, *Revista Brasileira de História da Ciência* **17**(1) (2024).
- [16] B. W. Carroll e D. A. Ostlie, *An Introduction to Modern Astrophysics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2017), 2 ed.
- [17] H. Arp, *O universo vermelho* (Editora Perspectiva, 2001).
- [18] V. Slipher, *Nebulae*, NASA Astrophysics Data System (1917). Disponível em https://www.roe.ac.uk/~jap/slipher/slipher_1917.pdf, acesso em mar. 2026.
- [19] E. Hubble e M. L. Humason, *The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae*, *Astrophysical Journal* (1931).
- [20] M. Ryle, *The spatial distribution of radio stars*, *International Astronomical Union* 221–244 (1955).
- [21] H. Bondi e T. Gold, *The Steady-State Theory of the Expanding Universe*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **108**(3), 252 (1948).
- [22] W. Baade e R. Minkowski, *Identification of the Radio Sources in Cassiopeia, Cygnus A, and Puppis A.*, *Classics in Radio Astronomy* 251–272 (1954).
- [23] M. Ryle e R. W. C. Clark, *An examination of the steady-state model in the light of some recent observations of radio sources*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **122**(3), 335 (1961).
- [24] K. Kellermann, *The Discovery of Quasars and Its Aftermath*, *Journal of Astronomical History and Heritage* **17**(3), 267 (2014). [ArXiv:1304.3627](https://arxiv.org/abs/1304.3627).
- [25] E. Friça, A.; Dal Pino, L. Sodr e Jr. e V. Jatenco-Pereira, *Astronomia: uma visão geral do universo*. (EDUSP, 2000).
- [26] D. Sciamia e M. Rees, *Cosmological Significance of the Relation between Red-shift and Flux Density for Quasars*, *Nature* (1966).
- [27] R. Teixeira, *Missão Espacial Gaia*, *Cadernos de Astronomia* **3**(2), 101 (2022).