



Guilherme Emerim Nunes^{1#} , Felipe Damasio² 

¹Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

²Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil.

Palavras-chave

teoria do Big Bang
texto paradidático
ensino de física

Resumo

O presente trabalho, caracterizado como um texto paradidático que pode ser utilizado nas aulas de física, revisita a história do desenvolvimento dos modelos cosmológicos, desde o surgimento da cosmologia relativística de Einstein até as teorias mais aceitas sobre a expansão do universo. Com o objetivo de divulgar um texto paradidático acessível a professores e alunos do ensino básico, o trabalho revisita a história do desenvolvimento do modelo cosmológico padrão (MCP), ou teoria do Big Bang, e seus inúmeros personagens, bem como as divergências e controvérsias ao longo do desenvolvimento da cosmologia moderna.

1. Introdução

No contexto do ensino de física em sala de aula, apresentar a cosmologia, bem como sua perspectiva histórica, pode ser um desafio para os professores, que necessitam de ferramentas didáticas para essa tarefa. Para esse empreendimento, é possível contar, como elemento motivador, com um texto paradidático. Essa ferramenta no ensino permite viabilizar o conteúdo por meio da leitura de um material que pode ajudar a ressignificar os conteúdos a serem aprendidos e conectar os alunos à abordagem histórica da forma de produção do conhecimento científico.

Pesquisas recentes indicam que temas relacionados à cosmologia são atrativos para os estudantes

Inúmeros trabalhos na literatura discutem as problemáticas do ensino de cosmologia [1-5], bem como possíveis caminhos para a discussão em sala de aula sobre o tema. Pesquisas recentes sobre o assunto [6-8] indicam que temas relacionados à cosmologia são atrativos para os estudantes e despertam o interesse no aprendizado de conceitos de física, além de possibilitar o diálogo com outras disciplinas, como a filosofia e a história. Nesse sentido, o presente trabalho visa contextualizar as contribuições dos avanços nos modelos cosmológicos. A utilização de um texto paradidático em sala de aula pode ser um elemento motivador

Autor de correspondência. E-mail: guiguiemerim@hotmail.com.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2024, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

para potencializar a discussão sobre episódios da história da ciência e promover uma visão sobre como a ciência é produzida. A história da ciência pode ser rica ao apresentar a evolução do conhecimento científico por meio da diversidade social e das disputas de teorias e crenças dos personagens que compõem essa evolução. Conforme Bagdonas [6, p. 100], “este tipo de atividade pode mostrar visões mais ricas e complexas sobre como a ciência é produzida, uma construção humana multifacetada, repleta de erros e acertos.”

2. Um breve panorama sobre a cosmologia relativista

Para entender de onde surgiu o atual modelo cosmológico padrão (MCP), torna-se ideal analisar e contar a história de seu desenvolvimento, com foco nos personagens envolvidos e em suas inúmeras contribuições para o avanço da ciência. Bertolami e Gomes [9] destacam que a cosmologia moderna pode ser entendida como uma decorrência da teoria da relatividade geral (TRG). Arthury e Peduzzi [10] evidenciam aspectos da teoria de Einstein e suas preferências por um modelo do universo que era confrontado pelos próprios resultados de sua teoria.

Em um trabalho de 1917, intitulado *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*¹ [11], Einstein propôs um modelo cosmológico baseado na TRG. De acordo com Henrique [12], “o universo de Einstein era finito e ilimitado, num espaço curvo fechado”. Os resultados após a aplicação da TRG indicaram um universo instável, que previsivelmente acabaria se autodestruindo devido à força de atração. Para Singh [13], Einstein optou por insistir e procurar uma maneira de explicar um universo eterno e estático, em conformidade com o consenso científico da época. Einstein imaginou um universo no qual não havia interação entre as partes, conforme coloca Novello [14, p. 180]: “Aceitou então que a fonte principal da geometria do espaço-tempo global deveria ser um fluido perfeito caracterizado somente por sua densidade de energia constante. Ou seja, não haveria pressão nesse fluido cósmico”. Sendo assim, seu modelo continuava instável, logo não permitia a formação das estruturas mais complexas presentes no próprio universo.

Dessa maneira, o problema relacionado à gravidade na teoria, que apontava para um universo autodestrutivo, foi resolvido por Einstein de maneira engenhosa. Para contrabalançar a atração da gravidade e evitar o colapso cataclísmico, Einstein inseriu em suas equações de campo originais uma constante cosmológica, representada pela letra grega Λ (lê-se lâmbda). Henrique [12] explica que a constante cosmológica “representa um tipo de repulsão, equilibrando a atra-

ção gravitacional e permitindo a existência de um universo estático, em equilíbrio”.

Fagundes [15] lembra que o valor da constante foi ajustado a fim de modelar um universo que não sofresse implicações com contrações ou expansões. De acordo com Soares [16], a constante pode apresentar diferentes valores, sendo positiva, negativa ou nula. Esse modelo deu início ao que chamamos de cosmologia relativista, embora não tenha sido o único nem isolado em uma tentativa de explicar o cosmos.

Alguns anos mais tarde, Einstein deixaria claro seu arrependimento pela inserção da constante cosmológica em suas equações, principalmente após a descoberta da lei dos desvios para o vermelho em galáxias distantes. Apesar disso, modelos cosmológicos posteriores, como os propostos por Friedmann e Lemaître, utilizaram a constante cosmológica [12, 17].

Outras soluções para as equações de campo da relatividade geral que também apresentavam uma descrição para o modelo do universo foram propostas pelo astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934), com a publicação de três trabalhos sobre o tema

em 1917. Kragh [18] argumenta que o modelo proposto por De Sitter contém semelhanças com o universo de Einstein, apesar de não conter matéria. Sob tais condições, teríamos um universo essencialmente “vazio”, mas que respeitava as condições homogêneas e isotrópicas. O’Raifeartaigh [19] explicita a solução proposta por De Sitter para as equações da relatividade geral para um universo sem matéria. A hipótese de De Sitter para um universo sem matéria, apesar de não concordar com o modelo sugerido por Einstein, acabou indicando condições de interesse para a cosmologia, como o “efeito De Sitter”, que pode ser entendido conforme explica Waga [20, p. 158]: “De Sitter sugere que a velocidade de afastamento de objetos (partículas teste) aleatoriamente espalhados aumentaria com a distância”.

3. Os universos de Friedmann

Em junho de 1922, Alexander Alexandrovich Friedmann (1888-1925) publicou seu trabalho acerca de soluções variáveis para as equações da relatividade geral, intitulado “Sobre a curvatura do espaço”, na *Zeitschrift für Physik*.² Kragh [17] defende a ideia de que “Friedmann estava interessado principalmente nos aspectos matemáticos dos modelos relativísticos dinâmicos, não na física do universo real”. Apesar disso, Bagdonas e Neto [21] destacam que, nesse trabalho de 1922, Friedmann faz algumas considerações com base na física para a escolha entre os diversos modelos de universo apresentados, dadas as suas resoluções das equações de campo. Kojevnikov [22] argumenta que o contexto político, dentro do âmbito socio-histórico do país de

A hipótese de De Sitter para um universo sem matéria, apesar de não concordar com o modelo sugerido por Einstein, acabou indicando condições de interesse para a cosmologia

Friedmann, influenciou suas interpretações sobre possíveis modelos de universo, que contrastavam com a visão de Einstein. A interpretação física de Friedmann em seu trabalho tem sido tema de discussões pormenorizadas sobre o assunto.

Friedmann encontrou o resultado obtido por Einstein para um universo cilíndrico, definindo a densidade da matéria e o valor da constante cosmológica por meio dos potenciais gravitacionais da relatividade geral. Além disso, ele encontrou resultados que poderiam descrever modelos cosmológicos estáticos e em expansão. Para Friedmann, a dinâmica do universo estava associada a um impulso dado por uma expansão inicial, que poderia combater a força da gravidade. No mesmo trabalho, ele propôs soluções para as equações de campo que descrevem modelos isotrópicos e homogêneos [23].

De acordo com Dussault e Faraoni [24], a solução de Friedmann pode representar um universo fechado, um universo plano ou até mesmo um universo hiperbólico, dependendo do valor assumido. Os modelos cosmológicos propostos por Einstein e De Sitter eram estáticos, enquanto o modelo sugerido por Friedmann apresentava uma evolução em escala cósmica. Waga [20] enfatiza a importância do reconhecimento que o trabalho de Friedmann merece por suas contribuições essenciais para a cosmologia moderna. Ainda segundo Henrique [12], Friedmann foi um dos primeiros a trazer à discussão os problemas da criação e da idade do universo, que se caracterizam como desafios na cosmologia relativística.

Acima de tudo, Alexander Friedmann provou que, ao contrário das afirmações anteriores de Einstein, existem soluções cosmológicas das equações da teoria da relatividade geral sem o termo cosmológico, e todas elas descrevem universos não estáticos que se expandem ou se contraem com o tempo [25, p. 19].

Os modelos que apresentam a característica de universo dinâmico em uma escala evolutiva, sem a presença da constante cosmológica, são conhecidos como “universos de Friedmann”. Infelizmente, Friedmann não pôde desfrutar do sucesso de seus resultados, que apontavam para um modelo de universo em expansão, pois faleceu ainda jovem devido à febre tifoide.

4. Georges Lemaître e o átomo primordial

O modelo proposto pelo padre belga Georges-Henri Joseph Édouard Lemaître (1894-1966), em meados de 1927, publicado na revista *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, trouxe novamente à tona a possibilidade de um universo em expansão, respeitando as equações de campo da relatividade geral. Curiosamente, Lemaître alegou não conhecer os trabalhos de

Friedmann quando publicou sua teoria sobre um universo em expansão, embora seus estudos tenham passado pelo mesmo processo de rejeição pela comunidade científica, particularmente por razões filosóficas. Como expõe Lambert [26], o fato de seu modelo não ser aceito por Einstein devia-se à falta de concordância com o modelo estático.

Em 1931, seu mentor da época em que obteve o PhD em Cambridge, o astrônomo inglês Sir Arthur Eddington, reconheceu o trabalho de Lemaître e sua teoria cosmológica e fez com que o artigo de seu ex-aluno fosse publicado no *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS), intitulado “Um universo homogêneo de massa constante e raio crescente explicando a velocidade radial de nebulosas extragalácticas”. Nesse artigo, Lemaître explicita as relações matemáticas usadas para

explicar os *redshifts* cosmológicos e prever a expansão do universo. Ele apresentou uma solução para as equações da TRG, sem necessariamente levar em conta a constante cosmológica, obtendo como resultado um cosmos em expansão. Seus resultados descreviam uma densidade que varia no tempo, enquanto o raio do universo aumentava. “Lemaître apontou que seu modelo de universo estava se expandindo e que a velocidade de recessão deveria ser entendida como um efeito Doppler aparente, devido à variação do raio do universo” [18, p. 9]. A explicação sobre o desvio espectral das galáxias para o vermelho, quando relacionada à sua teoria de expansão, evidencia a importância de seu trabalho.

Stoeger [27] chama a atenção para o fato de que a métrica que descreve um modelo padrão isotrópico e homogêneo, conforme visto na seção anterior, passou a ser denominada métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW). Conforme Mitton [28], Lemaître encontrou valores muito próximos aos de Hubble para medir a taxa de expansão do universo em quilômetros por segundo, e, por conta disso, a lei de Hubble, que mede a taxa de expansão do universo e a velocidade com a qual as galáxias se afastam umas das outras, teve seu nome alterado, devido às contribuições de Lemaître e sua interpretação dos desvios para o vermelho, para “lei de Hubble-Lemaître” pela União Astronômica Internacional, em 2018.

No breve artigo intitulado “The beginning of the world from the point of view of quantum theory” [29], publicado em 1931 na revista *Nature*, Lemaître fez algumas colocações a respeito do início do universo e da natureza das condições físicas em relação aos pressupostos da mecânica quântica, expondo o que seria a hipótese do átomo primordial.

Conforme [12, p. 80], “Lemaître introduziu na cosmologia a ideia audaciosa de um começo do universo

A lei de Hubble teve seu nome alterado, devido às contribuições de Lemaître e sua interpretação dos desvios para o vermelho, para “lei de Hubble-Lemaître” pela União Astronômica Internacional, em 2018

numa perspectiva realista”; partindo do pressuposto de que, no início, o universo era essencialmente frio e considerando que toda a matéria estava contida em um único átomo, denominado “átomo primordial”, o universo teria se originado numa espécie de grande fissão nuclear. Esse átomo teria se fragmentado em diversas partes, numa sucessão de subdivisões entre as partículas, até a formação dos demais átomos existentes. Esse seria um dos estágios do processo de evolução do universo, advindo de um estado inicial extremamente condensado e quente.

Em comparação com os parâmetros observacionais e os conhecimentos recentes da física, a ideia do átomo primordial não se sustenta, embora o conceito de singularidade tenha obtido êxito em fomentar discussões que extrapolam o contexto da física e possam ser discutidos no âmbito da filosofia. Lemaître incorporou à singularidade, como um “suporte geométrico” em sua teoria cosmológica, o sentido atribuído à palavra “átomo” utilizado para a hipótese do átomo primordial [30].

Para [21, p. 10], “o caso de Lemaître é mais um exemplo que atesta o papel epistêmico da diversidade na ciência”, pois suas contribuições corroboram a visão da ciência como um construto humano, repleto de desafios e que desafia preconceitos que podem subjugar e desvalorizar visões epistemológicas capazes de contribuir para o desenvolvimento da ciência.

5. Um universo em expansão

A história acerca da expansão do universo, assim como a história da ciência de modo geral, permite o debate crítico sobre o conceito de descoberta científica e reflexões sobre os processos de construção do conhecimento em ciência. Bagdonas, Zanetic e Gurgel [31] evidenciam, por meio de uma discussão pautada em episódios históricos à luz da epistemologia de Thomas Kuhn e Robert Merton, os motivos pelos quais é um equívoco afirmar que Hubble descobriu a expansão do universo. Os resultados da pesquisa de Hubble pareciam apontar para uma evidência a favor de um universo em expansão, assim como os trabalhos de Friedmann e Lemaître. De fato, Hubble mediu o desvio do deslocamento para o vermelho nas linhas espectrais das galáxias e encontrou uma relação entre a velocidade de afastamento das galáxias e sua distância, concluindo que, quanto maior a distância da galáxia, maior a velocidade com a qual ela se afasta. No entanto, o próprio Hubble argumentava contra a expansão do universo, porém fez interpretações cosmológicas muito cautelosas, insinuando a possibilidade de que esse resultado tivesse relação com o modelo de universo estático, proposto em 1917 pelo matemático,

físico e astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) [31, p. 2].

Nussbalm e Bieri [32] apresentam as pesquisas de Lemaître de 1927, que já indicavam a possibilidade de um universo em expansão. O desenvolvimento da teoria do universo em expansão contou com a participação de diversos pesquisadores e não se limita apenas à lei de Hubble-Lemaître. “A criação da teoria do universo em expansão teve vários colaboradores, em um processo que durou alguns anos, envolvendo tanto aspectos teóricos quanto experimentais” [33, p. 1260].

Embora a maior parte dos canais de divulgação científica explore o tema da expansão do universo apresentando uma história da ciência linear e cumulativa, construída por méritos de cientistas que realizaram descobertas individuais, um olhar mais atento revela que essa é uma maneira ingênua de divulgar o conhecimento e até mesmo a natureza da ciência.

6. O modelo do Big Bang quente

As observações de um modelo mais consistente sobre o universo, do ponto de vista físico, foram propostas por George Gamow e Ralph Alpher. Waga [20] argumenta que esse modelo foi a base do modelo padrão da cosmologia. Segundo Kragh [34], “a versão da cosmologia do Big Bang de Gamow em 1950 era claramente mais avançada e sofisticada do que a hipótese do átomo primordial de Lemaître”. No artigo de 1948, publicado na revista *Physical Review*, com a colaboração de Hans Bethe, eles apresentaram um modelo no qual o universo primordial era completamente composto de radiação. Além disso, investigaram a nucleossíntese do processo inicial do universo, que consiste no estudo da composição e formação de elementos químicos.

Os pioneiros da teoria, que viria a ser conhecida posteriormente como a teoria do Big Bang, acabaram não interagindo durante suas pesquisas.

Toda a lógica da teoria de Gamow baseava-se na física nuclear, especificamente para explicar a formação dos elementos químicos por meio de reações termonucleares, começando em uma sopa de nêutrons e prótons altamente comprimidos. Esse aspecto e a física nuclear em geral eram estranhos a Lemaître, que, conseqüentemente, não demonstrou interesse na abordagem de Gamow. Ele nunca se referiu ao trabalho de Gamow sobre o universo primitivo. Na verdade, os dois cosmologistas pioneiros nunca estiveram em contato, seja pessoalmente ou por meio de cartas. [34, p. 1345]

Alpher e Gamow contaram também com a participação do jovem físico Robert Hermann, que colaborou nos cálculos para a previsão teórica da radiação cósmica de fundo.

A falta de evidências observacionais e de uma explicação para a formação de elementos mais pesados trouxe à tona outras teorias que contestaram o modelo do universo com as características do Big Bang quente

mica de fundo em micro-ondas (RCFM). De acordo com Kragh [34], Gamow e seus colaboradores estimaram que, no estágio inicial do universo, predominava radiação de alta energia. Como a luz interage com partículas carregadas, como os elétrons, as interações sucessivas faziam com que a luz fosse dispersa pelas partículas no plasma, resultando em um nevoeiro cósmico. Após o processo denominado recombinação [35], momento em que essa névoa foi dissipada e o universo se tornou transparente, formaram-se os elementos neutros mais estáveis. Contudo, o modelo do Big Bang quente mostrava-se falho ao tentar descrever o processo de formação de átomos mais pesados que o hélio. Alpher e Hermann concluíram que a luz proveniente desse processo inicial ainda poderia estar presente no universo, com um comprimento de onda de aproximadamente um milímetro, situada portanto, na região de micro-ondas do espectro eletromagnético. No entanto, a radiação cósmica de fundo (RCFM) não foi detectada no mesmo período.

7. A teoria do estado estacionário

A falta de evidências observacionais e de uma explicação para a formação de elementos mais pesados trouxe à tona outras teorias que contestaram o modelo do universo com as características do Big Bang quente, como a proposta por Herman Bondi (1919-2005), Fred Hoyle (1915-2001) e Thomas Gold (1920-2004), em 1948, intitulada “teoria do estado estacionário” (*steady state theory*) [17]. Hoyle e seus colaboradores alegavam que deveria haver uma produção de matéria para contrabalançar a constante expansão do universo. Além disso, acreditavam que o universo sempre existiu, contrariando os pressupostos das teorias anteriores. Essa alegação na teoria do universo estacionário tentava explicar que, dessa maneira, “teria havido tempo suficiente para que as galáxias se formassem” [36, p. 627].

Para os fundadores dessa teoria, a expansão do universo poderia ser explicada pela constante taxa de criação de matéria, conforme explica [5, p. 116]: “portanto, a expansão do universo seria causada pela criação de matéria, assim, ao observarmos o universo, veríamos galáxias velhas e novas, distribuídas homogeneamente”.

Não obstante, o principal modelo de pesquisa que poderia enfrentar o modelo do Big Bang quente foi abandonado logo após a descoberta da radiação cósmica de fundo na década de 1960. Outro fator que contribuiu para o descrédito do estado estacionário foi o problema da distribuição homogênea de galáxias, que não pôde ser observada, conforme expõe [5].

Na década de 1980, surge a teoria da inflação cósmica, proposta originalmente por Alan Guth e com as colaborações de Andrei Linde e Paul Steinhardt. O universo teria passado por um processo de inflação cósmica, fazendo com que o espaço aumentasse de maneira exponencial

Um episódio histórico com certo grau de ironia está relacionado ao termo “Big Bang”, cunhado pelo então líder da teoria do estado estacionário, Fred Hoyle (1915-2001), durante uma entrevista ao programa de rádio da BBC em 28 de março de 1949 [28, p. 16; 37, p. 40; 12, p. 88]. Embora a expressão “Big Bang” tenha se popularizado, é válido ressaltar, conforme apontam Lambert e Reisse [38], que Lemaître nunca utilizou este termo. Como precursor da teoria do estado estacionário, Hoyle não concordava com as suposições de Lemaître sobre um estágio inicial do universo de alta densidade ou com a suposta radiação fóssil, decorrente da desintegração de elementos primordiais.

8. Um acidente benéfico: a radiação cósmica de fundo

Com o objetivo de estudar as fontes de rádio, Arno Allan Penzias (1933-2024) e Robert Woodrow Wilson (1936-) trabalhavam em conjunto nas dependências da Bell Telephone Laboratories, em 1964, quando constataram, acidentalmente, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM). Penzias e Wilson captavam ruídos em seus sinais medidos pelo radiotelescópio, sem saber, naquele momento, que estavam diante de uma das evidências que seriam um marco no respaldo teórico da teoria do Big Bang. No início, Penzias e Wilson pensaram que o ruído observado na antena do radiotelescópio fosse consequência de um material dielétrico branco, conhecido como excremento de pombos. A solução encontrada pelos radioastrônomos foi capturar boa parte dessas aves e levá-las para outra região.

No entanto, ao voltarem novamente a atenção para suas pesquisas, notaram que o ruído continuava e, dessa vez, não havia como culpar os pássaros. De acordo com o radiotelescópio, a radiação vinha de toda parte, independentemente da direção. “O eco do Big Bang se transformara em ondas de rádio e estava sendo detectado como ruído pelo radiotelescópio de Penzias e Wilson” [13, p. 399].

Segundo Hu e White [39, p. 44]: “a descoberta estabeleceu firmemente a teoria do Big Bang, na qual o estado inicial do universo era um plasma quente e denso, com partículas carregadas e fótons”. Villela e cols. [40] apontam aspectos essenciais associados ao estudo da radiação cósmica, como as medidas das variações de intensidade, que permitem observar condições sobre a estrutura do universo. Para os defensores da teoria do Big Bang, a previsão da RCF foi considerada uma “prova” da teoria, pois a previsão de sua temperatura foi vista como o sucesso de uma conjectura ousada [36, p. 629].

9. A RCFM como um resquício do começo do universo

Na década de 1980, surge a teoria da inflação cósmica, proposta originalmente por Alan Guth e com as colaborações de Andrei Linde e Paul Steinhardt. O universo teria passado por um processo de inflação cósmica, fazendo com que o espaço aumentasse de maneira exponencial. De acordo com Steiner [41, p. 243], “quando a idade do universo era de um trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo (sic), o universo expandiu-se subitamente de um fator gigantesco (esse fator é o número 1 seguido de 50 zeros!)”. Essa teoria ainda apresentou possíveis soluções para três problemas fundamentais no modelo do Big Bang: o problema do horizonte, o problema da planicidade do universo e o problema de monopolos magnéticos.

Segundo essa teoria, pequenas flutuações poderiam ser previstas por meio de pequenas variações de temperatura na radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM), como de fato foram observadas pela equipe do satélite intitulado Cosmic Background Explorer ou, simplesmente, como é popularmente conhecido, o satélite COBE. O projeto, liderado por George F. Smoot, em 1992, foi capaz de indicar pequenas variações de radiação em diferentes regiões. Essas variações são interpretadas como flutuações quânticas, conforme previsto pela teoria da inflação. O resultado fornece material para estudar como se deu o início da formação de estrelas, galáxias e até mesmo aglomerados de galáxias. Em 2003, o satélite denominado Wilkinson Anisotropy Probe (Sonda de Anisotropia de Micro-ondas Wilkinson), conhecido como WMAP, que apresentava uma resolução trinta e cinco vezes melhor que o COBE, detectou pequenas variações na RCFM.

A pesquisa sobre a descoberta da forma do corpo negro e da anisotropia da RCFM rendeu o prêmio Nobel de Física em 2006 para John C. Mather e George F. Smoot. O discurso de John C. Mather [42] após o reconhecimento com a premiação relata o impacto de receber o Nobel de Física pelo seu trabalho com o COBE:

Agora que passei dos 60 anos e o Prêmio Nobel reconheceu nosso trabalho no COBE, minha vida mudou novamente. Estou dando muitas palestras públicas para ajudar o público a entender o trabalho que fizemos e esperamos fazer no futuro para inspirar os jovens a ficarem tão entusiasmados com a ciência quanto eu. Também estou ampliando minhas perspectivas mais uma vez, tentando aprender sobre toda a gama de ciência espacial e ajudando a guiar a ciência da NASA para as descobertas do futuro.

O trabalho de Mather consistiu em apontar que o espectro da RCFM, na verdade, corresponde à radiação

do corpo negro. Esse resultado evidencia que a RCFM seria um resquício da criação do universo. Nas palavras de Smoot [43]:

A comunidade científica ficou inquieta esperando os resultados e havia artigos afirmando que o Big Bang estava com problemas, pois as variações de temperatura não haviam sido encontradas. Houve discussões acaloradas entre a equipe do COBE sobre se as descobertas estavam prontas para a publicação.

10. O universo em expansão acelerada

Em 1998, após a análise da luminosidade aparente de supernovas distantes, utilizando telescópios acoplados a satélites, equipes concorrentes de astrofísicos, os pesquisadores Saul Perlmutter, Adam G. Riess e Brian P. Schmidt, anunciaram a possibilidade de que o universo estava em expansão acelerada. As três pesquisas, independentes uma da outra e realizadas em locais distintos, apresentaram dados semelhantes acerca de algumas dezenas de supernovas que aparentemente exibiam menos brilho. Se o universo estiver se expandindo, a luminosidade aparente detectada devido a uma supernova Ia seria cada vez menos intensa, pois as distâncias em um universo em expansão tornam-se cada vez maiores. A constatação da expansão acelerada rendeu o prêmio Nobel de Física em 2011 a Saul Perlmutter, Adam G. Riess e Brian P. Schmidt. Nas palavras de Perlmutter: “Não poderíamos esperar pelo resultado real, uma surpresa que apresenta um novo quebra-cabeça

para a física fundamental - Agora nos divertimos tentando descobrir o que faz o universo acelerar” [44]. O anúncio de 1998, de que o universo está se expandindo a uma taxa cada vez maior, foi inesperado, já que a maioria da comunidade científica acreditava que a expansão pudesse ocorrer até um determinado ponto, voltando a se contrair por conta do efeito gravitacional. Até a descoberta da expansão acelerada em 1998, o modelo Einstein-De Sitter fora considerado o modelo cosmológico padrão [45, p. 5].

Não havia uma explicação para essa expansão, a não ser considerar a constante cosmológica λ de Einstein, que representa uma força repulsiva em relação à gravidade e, quando ajustada às equações, permite soluções que estão de acordo com o que fora observado. Ainda existem muitas discussões a respeito dos valores para a constante, que foi rebatizada de energia escura, por agora conter algum significado físico no universo, conforme explica Zimdahl [46, p. 111]. Mais uma vez, a constante voltava ao palco e, dessa vez, para representar um dos maiores problemas de pesquisa em cosmologia, pois cerca de 68% do universo é composto de energia escura, 28% de matéria escura e apenas 5% de matéria bariônica, ou seja, matéria dita comum, composta por prótons, nêutrons e elétrons em sua estrutura.

Como ferramenta textual, este texto pode gerar discussões a respeito do processo de produção do conhecimento científico e aproximar os alunos da história da ciência

Henrique [12] atenta para uma visão cautelosa acerca das medidas da RCFM e sua corroboração do chamado modelo padrão, pois, como enfatiza o autor: “não podemos dizer que se trata de uma prova experimental. Há diversas teorias alternativas na cosmologia, com diferentes interpretações sobre evidências observacionais, como os *redshifts* das galáxias e a radiação cósmica de fundo.”

11. Considerações finais

Dentro do cenário do ensino de física, espera-se que este trabalho possa contribuir como um texto paradidático para o(a) professor(a) de física, capaz de funcionar como subsídio teórico para algumas abordagens sobre a história do desenvolvimento de modelos cosmológicos e os avanços relacionados ao desenvolvimento da cosmologia moderna. Como ferramenta textual, o texto pode gerar discussões a respeito do processo de produção do conhecimento científico e aproximar os alunos da história da ciência.

As diversas controvérsias e disputas de espaço para confirmações de teorias sobre os modelos cosmológicos, quando vistas sob lentes históricas, implicam um ensino de ciências que permite uma formação crítica e valoriza a diversidade epistêmica das formas de fazer ciência. Além disso, ao apresentar aos alunos um texto que conte a história do desenvolvimento da cosmologia moderna, torna-se possível desconstruir visões equivocadas que afirmam que a ciência não é produzida por meio de conflitos entre teorias, relações de poder e visões distintas.

Concordamos com [31] em relação à crítica a uma ciência produzida por meio de descobertas individuais, pois, como alegam os autores, “isso raramente acontece na história da ciência” [31, p. 12]. O desenvolvimento de modelos cosmológicos para explicar o início do universo não difere dessa perspectiva ao apresentar seus

desafios, envolvendo personagens distintos, suas relações divergentes e controvérsias aparentes.

Assim, a evolução dos modelos distintos para explicar a criação do universo evidencia a cosmologia moderna como uma ciência multifacetada, rica em aspectos culturais desde a proposta do modelo de Einstein até os principais problemas relacionados ao modelo cosmológico padrão, conforme explicam Gaspar e Tambor [47, p. 855]:

Alguns dos problemas do modelo do Big Bang quente padrão incluem os problemas da planicidade, do horizonte e da suavidade, o problema da singularidade, a natureza de uma teoria quântica da gravidade, o problema da assimetria matéria/antimatéria, a produção de defeitos topológicos após as transições de fase da GUT no universo muito primitivo, o problema das condições iniciais gerais e os problemas gerais de ajuste fino das constantes da física e dos parâmetros cosmológicos, além dos problemas da matéria escura e da energia escura.

Esses tópicos não serão discutidos e problematizados neste texto, que se propõe a apresentar de maneira resumida o desenvolvimento histórico dos modelos cosmológicos. Além disso, é válido ressaltar que nenhum dos modelos citados no texto, nem tampouco aqueles que foram omitidos, é determinístico para a representação do universo real. A busca teórica, aliada a experiências cada vez mais sofisticadas do ponto de vista tecnológico, viabiliza os crescentes impactos nas pesquisas de cosmologia moderna. A discussão crítica em sala de aula, por meio da contextualização histórica, permite promover reflexões acerca do processo do empreendimento científico.

Recebido em: 6 de Junho de 2024

Aceito em: 10 de Outubro de 2024

Notas

¹Considerações cosmológicas sobre a teoria da relatividade geral.

²Revista de física.

Referências

- [1] L.H.M. Arthury, L.O.Q. Peduzzi, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 2405 (2013). [doi](#)
- [2] J.E. Horvath, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20200130 (2020). [doi](#)
- [3] A. Bagdonas, *Cad. Cat. Ens. Fis.* **37**, 1250 (2020). [doi](#)
- [4] J.A.S. Lima, R.C. Santos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, e1313 (2018). [doi](#)
- [5] K.N. Skolimoski, *Cosmologia na Teoria e na Prática: Possibilidades e Limitações no Ensino*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2014.
- [6] A. Bagdonas, J. Zanetic, I. Gurgel, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **35**, 97 (2018). [doi](#)
- [7] A.P. Winter, F.T. Dalmolin, *Revista do Professor de Física* **8**, 80 (2024). [doi](#)
- [8] P.C.S. Gonçalves, J.E. Horvath, P.S. Bretones, *Ciência & Educação (Bauru)* **28**, e22044 (2022). [doi](#)
- [9] O. Bertolami, C. Gomes, in: *Ética Aplicada: Investigação Científica*, editado por M.C.P. Neves, M.G. Carvalho (Edições 70, Lisboa, 2018), p. 127-149.
- [10] L.H.M. Arthury, L.O.Q. Peduzzi, *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* **20**, 59 (2015).
- [11] A. Einstein, *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* **1917**, 142 (1917).
- [12] A.B. Henrique, *Discutindo a Natureza da Ciência a Partir de Episódios da História da Cosmologia*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2018.

- [13] S. Singh, *Big Bang* (Record, Rio de Janeiro, 2006).
- [14] M. Novello, *Estudos da Língua(gem)* **19**, 163 (2021). [doi](#)
- [15] H.V. Fagundes, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 247 (2002). [doi](#)
- [16] D. Soares, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 3302 (2013). [doi](#)
- [17] H. Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton University Press, Princeton, 1996).
- [18] H. Kragh, R.W. Smith, *History of Science* **41**, 141 (2003). [doi](#)
- [19] C. O'raifeartaigh, arXiv 2201.06893 (2022). [doi](#)
- [20] I. Waga, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 163 (2000).
- [21] A. Bagdonas, C.P. Silva Neto, *Ciência & Educação* (Bauru) **29**, e23029 (2023). [doi](#)
- [22] A. Kojevnikov, in: *Science, Technology, Environment, and Medicine in Russia's Great War and Revolution, 1914-22*, editado por A.J. Heywood, S.W. Palmer, J.A. Lajus (Indiana University Press, Indiana, 2022), p. 249-280.
- [23] A. Friedmann, Über die Krümmung des Raumes. *Z. Phys* **10**, 377 (1922).
- [24] S. Dussaalt, V. Faraoni, *The European Physical Journal C* **80**, 1002 (2020). [doi](#)
- [25] V.M. Mostepanenko, *Cadernos de Astronomia* **3**, 17 (2022). [doi](#)
- [26] D. Lambert, in: *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy. Astrophysics and Space Science Library*, editado por R.D. Holder, S. Mitton (Springer Berlin, Heidelberg, 2012), p. 9-21.
- [27] W.R. Stoeger, in: *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy. Astrophysics and Space Science Library*, editado por R.D. Holder, S. Mitton (Springer Berlin, Heidelberg, 2012), p. 97-111.
- [28] A.S. Mitton, arXiv 2007.09459 (2020). [doi](#)
- [29] G. Lemaître, *Nature* **127**, 706 (1931). [doi](#)
- [30] M. Heller, in: *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy. Astrophysics and Space Science Library*, editado por R.D. Holder, S. Mitton (Springer Berlin, Heidelberg, 2012), p. 55-68.
- [31] A. Bagdonas, J. Zanetic, I. Gurgel, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e2602 (2017). [doi](#)
- [32] H. Nussbaumer, L. Bieri, *Discovering the Expanding Universe* (Cambridge University Press, Cambridge, 2009).
- [33] A. Bagdonas, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **37**, 1250 (2020). [doi](#)
- [34] H. Kragh, *Foundations of Physics* **48**, 1333 (2018). [doi](#)
- [35] R. Rosenfeld, *Física na Escola* **6**(1), 31 (2005).
- [36] A. Bagdonas, A.M.M. Maciel, C.C. Silva, M.E.F. Seabra, *Investigações em Ensino de Ciências* **29**, 621 (2024). [doi](#)
- [37] R.D. Holder, in: *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy. Astrophysics and Space Science Library*, editado por R.D. Holder, S. Mitton (Springer Berlin, Heidelberg, 2012), p. 39-53.
- [38] D. Lambert, J. Reisse, *Académie royale de Belgique Classe des Sciences. Mémoires* **30**, 2057 (2008).
- [39] H.U. Wayne, M. White, *Scientific American* **290**, 44 (2004).
- [40] T. Villela, I. Ferreira, C.A. Wuensche, *Revista USP* **104**, 104 (2004). [doi](#)
- [41] J.E. Steiner, *Estudos Avançados* **20**, 231 (2006).
- [42] John C. Mather, [NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2006/mather/biographical/). Nobel Prize Outreach AB 2022. Mon. 19 Dec 2022. Disponível em <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2006/mather/biographical/>, acesso em 19 de dez de 2022.
- [43] George F. Smoot, [NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2006/smoot/biographical/). Nobel Prize Outreach AB 2022. Mon. 19 Dec 2022. Disponível em <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2006/smoot/biographical/>, acesso em 19 de dez de 2022.
- [44] Saul Perlmutter, [NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2011/perlmutter/biographical/). Nobel Prize Outreach AB 2022. Mon. 19 Dec 2022. Disponível em <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2011/perlmutter/biographical/>, acesso em 19 de dez de 2022.
- [45] R.F. vom Martens, F.K. Ribeiro, W. Zimdahl, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **34**, 1310 (2012). [doi](#)
- [46] W. Zimdahl, *Cadernos de Astronomia* **2**, 106 (2021). [doi](#)
- [47] Y. Gaspar, P. Tambor, *Foundations of Science* **29**, 847 (2024). [doi](#)