

CONCEPÇÕES SOBRE O UNIVERSO FINITO E INFINITO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

CONCEPTIONS ABOUT THE FINITE AND INFINITE UNIVERSE AND THEIR CONTRIBUTIONS TO SCIENTIFIC EDUCATION

Filipe Alves Pereira Bento¹

José Alberto Casto Nogales Vera²

Karen Luz Burgoa Rosso³

Laysa Gonçalves Martins⁴

Resumo: Nesta pesquisa, trazemos uma discussão antiga na história da ciência sobre a finitude ou infinitude das dimensões do Universo. Durante milênios, essa pergunta foi abordada por filósofos e cientistas e, até hoje, não existe uma resposta definitiva. Levou-se essa discussão para o ambiente acadêmico da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com o intuito de se conhecer algumas “opiniões” acerca do tema. Assim, foi realizada uma enquete, com graduandos, sobre o tamanho do Universo. Uma análise de conteúdo das respostas indica que elas coincidem com a opinião geral dos cientistas, mostrando que essas opiniões são adquiridas pela realidade que as rodeiam, assim como de toda a interação social e cultural sobre as quais estão imersas. A pergunta sobre a extensão do Universo permitiu mostrar que a procura do conhecimento é um processo permanente, histórico, social e intimamente ligado ao método científico, uma forma de pensar científica da natureza e da sociedade.

Palavras-chave: Pedagogia da pergunta; Universo finito ou infinito; Educação Científica.

Abstract: In this research, bring forth an ancient discussion in the history of science concerning the finitude or infinity of the dimensions of the Universe. For millennia, this question has been addressed by philosophers and scientists, and to this day, there is no definitive answer. This discussion was brought to the academic environment Federal University of Lavras with the aim of understanding some “opinions” on the subject. Thus, an analysis of the responses was carried out, and we concluded that they coincide with the general opinion of scientists, showing that these opinions are acquired from the reality that surrounds them, as well as from all the social and cultural interactions in which they are immersed. The question about the extent of the Universe allowed us to

¹ Mestre em Educação Científica e Ambiental, Universidade Federal de Lavras (UFLA). Docente no Colégio Universitário de Aplicação da UNINCOR, Três Corações, Minas Gerais, Brasil. E-mail: prof.filipe.bento@colegioaplicacaotc.com.br.

² Doutor em Física, Universidade Federal Fluminense (UFF). Docente na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: jnogales@ufla.br.

³ Doutora em Física, Universidade Federal Fluminense (UFF). Docente na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: karenluz@ufla.br.

⁴ Doutora em Física, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Docente no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Varginha, Minas Gerais, Brasil. E-mail: laysamartinsymail@yahoo.com.br.

demonstrate that the pursuit of knowledge is a permanent, historical, social, and intimately connected process to the scientific method, a scientific way of thinking about nature and society.

Keywords: Question pedagogy; Finite or infinity Universe; Scientific Education.

1 Introdução

De acordo com a abordagem de Freire (1985), o conhecimento surge como resposta a uma pergunta e, portanto, o perguntar é considerado como um ato inicial da pesquisa. O ato de realizar perguntas é uma característica inerente à natureza humana, pois expressa a curiosidade para conhecer e transcender. Assim, é necessário que todos se envolvam com o perguntar, problematizando-o com sua realidade, com o conhecimento atual do fato a ser estudado e estabelecendo relações com conhecimentos anteriores. Essa ação está intimamente ligada ao desenvolvimento da educação científica, pois ao inquietar e provocar um debate, se promove o amadurecimento do pensamento criativo e crítico. A questão surge da capacidade de descobrir, encantar-se com a natureza através da dúvida. Todo conhecimento começa com uma questão. No entanto, muitas respostas são postas sem perguntas, de forma pronta e acabada. Mas será que o conhecimento humano está pronto e acabado? O conhecimento é uma construção permanente, que não está acabado, é histórico, isto é, um processo social e no caso do conhecimento científico, o qual está intimamente ligado ao método científico, há uma forma de pensar científica da natureza e da sociedade.

A curiosidade humana é manifestada pela busca incessante de conhecimento, que é alimentada pela experiência da natureza. O ato de perguntar inicia o processo de aquisição de conhecimento, que é contínuo, estimulado pela vontade de descobrir. A pedagogia das perguntas nos leva a elaborar perguntas, mas não qualquer pergunta, devem ser perguntas relevantes, essenciais, radicais, enquanto a pedagogia das respostas visa fornecer respostas lógicas, construtivas e evolutivas, o que estimula o desenvolvimento de novas perguntas e descobertas (Freire, 1985). No entanto, estabelecer um saber como absoluto, elimina a curiosidade e a possibilidade de descoberta, pois o conhecimento, supostamente, já está dado e não permite que novos elementos sejam descobertos.

Neste trabalho, escolheu-se uma pergunta considerada relevante dentro da área da Cosmologia, no que diz respeito se o Universo é finito ou infinito (Hawking, 1998).

Atualmente, existe uma grande quantidade de trabalhos focados nas concepções dos alunos em Astronomia, porém, há limitações no que se refere ao estudo da Cosmologia. Vários estudos evidenciam a diversidade de concepções que os alunos possuem com relação a temas de Cosmologia (Salimpour, *et. al.*, 2023). A pesquisa deste trabalho foi feita na disciplina de Física Experimental no primeiro semestre, com os estudantes da graduação em engenharias.

As perguntas sobre a finitude ou infinitude do Universo têm servido como uma motivação que desperta a curiosidade no domínio público mais amplo (Consentino, 2014). As respostas a esta pergunta permitem obter uma compreensão tangível e mais profunda do conceito; isto é, permitem extrair informações quantitativas e qualitativas sobre o tema estudado (Salimpour, *et. al.*, 2021).

A compreensão de conceitos da natureza e do Universo são um dos tópicos gerais de pesquisa em Educação e na Física, em particular (Docktor, 2014). Nas pesquisas, existe uma ênfase em identificação de dificuldades conceituais, ou seja, equívocos, concepções alternativas e concepções ingênuas por parte dos estudantes e do público em geral (Campos, *et. al.*, 2021).

Compreender o Universo, junto com os objetos que ele engloba e os mecanismos que operam nele, pode levar nossas ferramentas de raciocínio conceitual aos seus limites (Rovelli, 2017). Isso se deve principalmente às vastas escalas espaciais e temporais envolvidas (Eriksson, *et. al.*, 2014). As perguntas sobre a finitude ou infinitude do Universo têm servido como uma motivação que desperta a curiosidade no domínio público mais amplo. As respostas a esta pergunta permitem obter uma compreensão tangível mais profunda do conceito; isto é, permitem extrair informações quantitativas e qualitativas sobre o tema estudado (Salimpour, *et. al.*, 2021).

Neste trabalho, vários estudantes universitários emitiram sua “opinião” (Laugksch, 2000) sobre a finitude ou não do Universo e a partir daí, extraímos o significado de uma representação mental (Vieira, 2001) sobre tais conceitos. Esse significado pode ser, por vezes, diferente do significado pretendido ou suposto da concepção científica atual, nos levando a levantar uma hipótese, que essa opinião vem de toda a interação social e cultural, na qual os participantes se desenvolveram. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi compreender como é o pensamento das representações cosmológicas para diferentes estudantes e suas diferentes dimensões conceituais e como podemos refletir sobre ela na educação científica.

A questão de saber se o Universo é finito ou infinito (Lévy, 1987) se divide nas seguintes subquestões completamente diferentes: O Universo é infinitamente grande? Ele se estende infinitamente no espaço? O Universo é eterno? Ele se estende infinitamente no tempo e, em caso afirmativo, em que direção (passado ou futuro)? Ou ambos? O espaço (e/ou o tempo) podem ser subdivididos infinitamente? Ou seja, o Universo se estende a escalas infinitamente pequenas? O direcionamento para se entender as respostas para essas perguntas, nesta época, é a ciência e seu método e, em particular, a Cosmologia baseada na teoria da Relatividade Geral de Einstein, a qual será analisada detalhadamente na seção "Como se concebe o Universo atual?".

A indagação sobre a finitude ou não das dimensões do Universo é muito antiga na humanidade. Há aproximadamente 2.500 anos, ela vem sendo debatida por filósofos e cientistas. Demócrito, Aristóteles, Kant, Einstein e Stephen Hawking (Stewart, 2019; Van Helden, 1985; Clark, 2004) são alguns exemplos de nomes que tentaram trazer luz a essa pergunta. Hoje, a resposta se tornou um desafio com os avanços da concepção científica e das fronteiras da tecnologia. Por exemplo, somos limitados pela luz, a qual viaja a uma velocidade finita, de forma que só podemos ter acesso a uma pequena fração do Universo, chamada de "Universo observável". Nessa faixa ou intervalo, podemos nos referir às ondas eletromagnéticas, como a famosa radiação cósmica de fundo. Porém, o que existe além dessa fronteira? O Universo tem um fim ou se prolongará eternamente? Qual é o significado físico do "infinito"? A descoberta das ondas gravitacionais nos permitirá nos próximos anos explorar estas fronteiras (Bailes, *et. al.*, 2021). Alguns pontos relevantes sobre isso serão analisados nas seções: "Concepção dos cientistas antigos sobre o Universo ser finito ou infinito" e "Opinião dos cientistas na atualidade sobre se o Universo é finito ou infinito".

A pergunta sobre a finitude do Universo é uma questão que todos se fazem em algum momento de sua vida e sempre despertou interesse (Levinas, 1961; Bacca, 1984; Morris, 1998; Wallace, 2010; Heller e Woodin 2011; Zellini, 2011; Maor, 2017). Ela ainda não possui uma resposta definitiva, sendo que a filosofia e a ciência se encontram na tentativa de dar significados e respostas a tal indagação. Mas, por que, então, dar atenção a uma pergunta que pode nem mesmo possuir uma resposta a curto prazo? Curiosidade! Essa característica, presente em todo ser humano, também faz parte da atitude científica, a qual almeja obter o conhecimento e, cada vez mais, pretende investigar, conhecer e entender a natureza. Por exemplo, a história conta que Michael Faraday teria apresentado suas descobertas e trabalhos com o magnetismo e eletricidade

à rainha Vitória, de onde, nessa ocasião, veio a seguinte pergunta da realeza: "Mas para que isso é útil?" (Highfield, 2010). Refletindo sobre tal história, seria possível imaginar e conceber a maioria das sociedades atuais e seus estilos de vida sem a eletricidade? Isso também não significa que todo conhecimento necessita de uma aplicação prática para ser válido, e, na verdade, entender e se maravilhar pela natureza é uma atitude que nos permite adquirir essa "inquietação curiosa" que nos referimos anteriormente. Dessa forma, indagar hoje sobre a finitude ou não do Universo pode ser uma pergunta semelhante às que Faraday fez quando tentava entender as leis da eletricidade e do magnetismo. Portanto, qual é a percepção que um atual jovem universitário tem sobre tal tema?

Iniciamos com a concepção sobre a finitude do Universo na Antiguidade e, em seguida, apresentamos a concepção de cientistas da atualidade. Fazemos também uma breve descrição sobre a finitude do Universo baseado na Cosmologia e na Relatividade Geral de Einstein e explicamos o método de análises utilizado para aferir a concepção de estudantes sobre o finitude do Universo. Finalmente, mostramos e analisamos os resultados da pesquisa.

2 Concepção dos cientistas antigos sobre o Universo ser finito ou infinito

O Universo imaginado por Aristóteles era finito espacialmente, mas eterno. Tudo estava dentro da esfera de estrelas fixas. Seu tamanho era desconhecido, embora Ptolomeu estima que a esfera está distante 20.000 raios terrestres. Nesta visão (Mondolfo, 1968), o mundo acima da esfera da Lua era diferente do mundo abaixo. Um humano feito de matéria comum não tinha lugar no mundo superior. Fora desta esfera externa, não havia nada. Se tentarmos visualizar um Universo como este, falharemos; em vez disso, o colocamos mentalmente dentro de um volume vazio ainda maior. Outra resposta para o enigma da margem dada na Antiguidade era que não havia margem, pois o Universo é infinito em extensão. Essa era a visão dos atomistas, para quem tudo dependia da complexa interação dos átomos e da evolução resultante da estrutura - até mesmo os humanos. Esses processos exigiam muito tempo e espaço e eram mais fáceis de visualizar em um Universo infinito. Lucrécio, que viveu no século I a.C., descreve o infinito em seu livro "Sobre a Natureza das Coisas" (Koyré, 1986; Lucrécio, 2021), da seguinte maneira (Koyré, 1986, p. 43):

Há, portanto, um abismo ilimitado de espaço, de tal forma que mesmo os clarões ofuscantes do relâmpago não podem atravessar em seu curso, correndo através um período interminável de tempo, nem podem encurtar a distância ainda a ser percorrida. Tão vasto é o escopo que se abre para coisas em toda parte, sem limites em qualquer dimensão.

Giordano Bruno estava ciente dos pensamentos de Lucrécio e foi um dos primeiros defensores do espaço infinito e de inúmeras estrelas do Renascimento. Sua visão era que existiam corpos celestes como a Terra em número infinito. Nesse aspecto, ele estava bem à frente de Copérnico, Kepler e até de Galileu, embora deva ser dito que Giordano Bruno não tinha evidências observacionais para suas ideias.

A terceira linha de raciocínio na Antiguidade era de que o mundo era parcialmente finito e parcialmente infinito. Nessa visão, nosso mundo material era como uma ilha em um Universo infinito. Essa foi a ideia dos filósofos estoicos que seguiram os ensinamentos de Zenon (336–246 aC). A visão popular no século XIX da Via Láctea contendo tudo que havia nela possuía alguma semelhança com as ideias estoicas, por outro lado, a teoria concorrente do “Universo-ilha” era como a visão atomista. O último, é claro, foi considerado correto. Mas podemos seguir os atomistas até o fim e dizer que nosso Universo de galáxias é infinitamente grande?

3 Opinião dos cientistas na atualidade sobre se o Universo é finito ou infinito

Nesta seção, expomos a opinião dos cientistas na atualidade, por meio da pesquisa feita pelo astrônomo Erik Høg, que possui mais de 67 anos de profissão, tendo um trabalho interessante acerca desse tema (Høg, 2014). Ele, talvez, iniciou uma nova linha de pesquisa conhecida como Astrosociologia ou Astropsicologia. Nela, ele fez a mesma pergunta sobre o Universo: “Se o Universo é infinito agora, então sempre foi infinito, correto? Ou, o que você acha?” Vários cosmólogos responderam à pergunta, uns pedindo para não ser identificados. Vamos observar algumas respostas: Wendy Freedman (2020) respondeu “Sim, você tem razão”; Gustav Tammann, o especialista em expansão do Universo ganhador da medalha Albert Einstein em 2000, disse: “Sim, claro. É uma questão puramente matemática.”, mas depois ele esclareceu, “Não, não é puramente matemático, porque você pode facilmente ter uma função do tempo na matemática com uma descontinuidade. Vai de um valor finito ao infinito, mas você não pode ter isso em um sistema físico. O Universo não pode passar repentinamente de um

tamanho finito para o infinito. Isso exigiria velocidades infinitas, o que é impossível.”, concluindo que: “Então, eu estava certo no assunto, mas não no raciocínio!”.

Jean-Claude Pecker, adversário da teoria do *Big Bang*, na época concordou imediatamente que o Universo sempre foi infinito e ainda acrescentou que tem idade infinita (Høg, 2014, p. 129):

O que isso significa, um “Universo infinito no espaço e no tempo”? Não é um resultado de medidas, é claro: ninguém jamais mediu uma quantidade “infinita” ou “nula”! A única coisa que se pode dizer é: qualquer que seja o objeto A que se possa observar e talvez estudar, estou convencido de que há outro objeto B mais longe, a uma distância maior do que o objeto A, e que não posso (até agora) observar e estudar. Qualquer que seja a época T em que minhas observações e estudos podem revelar alguma realidade, estou convencido de que há outra época S, anterior à V, que eu poderia observar e estudar, ou talvez que nunca serei capaz de observar e estudar. Isso é o que quero dizer com “acreditar” na infinidade de espaço e tempo.

E ainda disse que (Høg, 2014, p. 129):

O Universo não pode ser infinito porque a matéria e a energia que ele contém devem ser finitas. O infinito é apenas um conceito matemático, nada mais e nada real pode ser infinito. O espaço é certamente infinito e o Universo conforme definido pela matéria (visível ou escura) e a energia de que é composto se expande para este espaço infinito.

Peter Naur ganhou o prêmio Turing de 2005, também conhecido como o “prêmio Nobel da Ciência da Computação”, respondeu (Høg, 2014, p. 130):

Sua pergunta sobre o Universo e o infinito eu considero um absurdo filosófico prejudicial. Do mesmo caráter de quando o famoso Hawking disse que o cérebro humano é um computador. Tal absurdo é agora, desde 1958, sob o nome de cognitivismo, um veneno para a psicologia. É prejudicial porque o cognitivismo nos impedirá de entender como a vida mental ocorre no sistema nervoso. No decorrer das entrevistas, percebi que algumas pessoas nem conseguem pensar silenciosamente em um Universo infinito. Meu conselho é apenas usar a série infinita de números naturais 1, 2, 3... e então pensar em tantos milhões de anos-luz. Desse modo, é simples pensar no infinito e entendê-lo sem confusão. Mas a confusão surge quando as pessoas imediatamente começam a discutir outras questões: Como o Universo poderia começar como uma singularidade se agora é infinito? Como você pode provar que é infinito? Se você viajar mesmo com a velocidade da luz e o Universo se expandir... ? etc. etc. Eu digo pare! Faça uma pergunta de cada vez. Algumas pessoas têm fortes sentimentos contra um Universo infinito e até mesmo contra pensar nele como tal. Isso me surpreende, pois não deveria fazer diferença para nós, seres humanos, se o Universo é infinito ou simplesmente imensamente grande, como certamente é.

Sergei Klioner, especialista em relatividade geral, disse: “O que você quer dizer com infinito?” Então, Erik Høg explicou que estava se referindo ao espaço infinito em três dimensões, e assim, Sergei Klioner, concordou que o Universo tem três dimensões espaciais e se expande com o tempo, que é uma quarta dimensão, mas não espacial, ele não concordou que o Universo foi necessariamente infinito em qualquer época anterior, mesmo que seja infinito agora.

Ao final do trabalho, Erik dá a sua própria opinião sobre o tema, alegando que concorda com as observações referentes ao Universo observável, porém, pensa que o Universo, além dessa fronteira, pode ser muito diverso e outras leis seriam necessárias para entendê-lo.

Mas, recentemente, Ellis comentou sobre o infinito na Física (Ellis; Meissner; Nicolai, 2018, p. 770), segundo ele,

Na realidade, a suposta existência de infinito real na natureza é questionável. O símbolo (∞) para representar o infinito faz parte da ordem natural. Mas este não é o caso. O infinito não é apenas um número muito grande: não é um número; em vez disso, é maior do que qualquer número. É uma ideia humana inatingível por sua própria natureza, não importa o que aconteça ou quanto tempo leve. “O infinito não pode ser encontrado em lugar algum da realidade, não importa a quais experiências, observações e conhecimento para o qual se apele.

4 Como se concebe o Universo atual?

Nesta seção, vamos apresentar uma visão atual da Cosmologia baseada na teoria da Relatividade Geral de Einstein (Pais, 1982). Partimos da ideia de Copérnico de que o Universo é visto de uma escala suficientemente grande, as propriedades do Universo, são as mesmas em qualquer parte do Universo, isso implica em duas consequências estruturais testáveis do Princípio Cosmológico, as quais são a homogeneidade e a isotropia do mesmo. Essas propriedades nos levam a três tipos de Universo, quando consideramos a teoria da Relatividade Geral de Einstein, os quais são: fechado, plano e aberto. Os Universos planos e abertos são infinitos, mas se originaram de uma singularidade, na qual no instante do Big Bang, o Universo era apenas um ponto (Weinberg, 1993). Parece um absurdo físico, mas matematicamente é possível. Muitos físicos não gostam da singularidade inicial e inventaram vários modelos que excluem a singularidade original, teorias como “*Loop Quantum Gravity*” (Rovelli, 1988), no entanto, consideram o Universo no estado original como sendo finito em qualquer caso.

Nosso conhecimento atual de Cosmologia sugere que o Universo é finito temporalmente baseado em dados bem estabelecidos, conhecido como modelo Λ CDM ou Modelo Padrão da Cosmologia (Leibundgut, 2021; Boyle-Kolchin, 2021). Os três tipos de geometrias para a estrutura do Universo seriam possíveis: plana, aberta ou fechada, no Universo plano pode ser um infinito, pois, como se expande, seus limites nunca se encontrariam. Em outras palavras, um viajante poderia vagar eternamente em linha reta e nunca retornaria ao ponto do qual partiu nem chegaria a um final, visto que o Universo se expande. Por outro lado, se a geometria fosse fechada (esfera), o Universo seria finito mesmo que aumentasse suas dimensões. O cálculo dessa geometria depende principalmente da medição da quantidade de matéria-energia no Universo (Bento, 2021). Os dados atuais (Ade *et al.*, 2014), coletados pela sonda Planck, sugerem que vivemos em um Universo de geometria plana. Essa informação combinada com o fato de que o Universo se expande aceleradamente são “fortes indícios” de que vivemos em um cosmos “infinito” em suas dimensões espaciais, pelo menos na sua porção observável até o momento.

O modelo Λ CDM (Ostriker, 2013), Cosmologia *Standard*, se apoia numa firme base experimental sendo (i) A nucleossíntese do *Big Bang*, (ii) Radiação Cósmica de Fundo de Micro-ondas e (iii) desvio para o vermelho de Hubble (Hubble, 1929), as quais são as principais, todavia existem outras. Sabe-se que o Universo evoluiu a partir da escala de Planck, nessa fase o Universo era quente e denso, com a expansão ele está se esfriando. Todas as regiões são equivalentes e não há nenhum ponto ou centro especial do Universo. Por tanto, o *Big Bang* é uma expansão do próprio espaço.

Outro aspecto importante do Universo como cientificamente é visto hoje, é a presença de um setor escuro, i.e. não observável, no espectro eletromagnético. De acordo com as observações, o Universo tem 95% de conteúdo de matéria (Hossenfelder; Mcgaugh, 2018) e energia escura. A energia escura é mais comumente estudada pela adição de uma constante cosmológica Λ nas equações de Einstein, a qual é interpretada como densidade de energia do vácuo. No entanto, sua origem ainda é desconhecida, assim como, ainda não há evidências experimentais de candidatos à matéria escura.

O que conhecemos como nosso Universo, cujo início ocorreu há 13.8 bilhões de anos atrás com o *Big Bang* quente. A partir daí, ele tem se expandido e esfriado desde então, até os dias de hoje. Para um observador que tenha nosso ponto de vista, nosso referencial, podemos olhar para trás cerca de 46,0 bilhões de anos-luz de distância em todas as direções (Gott III *et al.*, 2005), graças à velocidade da luz e à expansão do

espaço. Embora seja uma distância enorme, não é infinitamente grande. Mas isso é apenas o que podemos ver. O que está além disso? Poderia ser infinito?

É verdade que não sabemos se é finito ou infinito, mas sabemos muito mais do que somente o que vemos na parte que é observável para nós. Ao olharmos para distâncias maiores, também acabamos olhando para trás no tempo. A galáxia mais próxima está a cerca de 2,5 milhões de anos-luz de distância, parece-nos como era há 2,5 milhões de anos, porque a luz requer muito tempo para chegar aos nossos olhos desde o momento em que foi emitida. Galáxias mais distantes aparecem como eram há dezenas de milhões, centenas de milhões ou mesmo bilhões de anos atrás. À medida que olhamos cada vez mais para longe no espaço, a luz que vemos do Universo vem de seus dias progressivamente mais jovens. Então, por que não voltar ao início: à luz que foi emitida há 13,8 bilhões de anos? Não apenas procuramos, mas também encontramos: a radiação cósmica de fundo de microondas (Evans, 2015), a qual é o brilho remanescente do *Big Bang*, como indicado anteriormente como sendo uma das evidências mais sólidas sobre o Universo.

O que descobrimos é que o Universo era quase perfeitamente uniforme naquela época, mas algumas regiões eram mais ou menos densas do que a média, em apenas 1 parte em 30.000. Isso é o suficiente para que estrelas, galáxias, aglomerados de galáxias e vazios cósmicos cresçam e se tornem o que vemos hoje. Todavia, essas primeiras imperfeições que vemos neste instantâneo cósmico codificam uma quantidade incrível de informações sobre o Universo. Uma dessas informações é um fato surpreendente: a curvatura do espaço, tanto quanto podemos dizer, é completamente plana, esta é uma das conclusões diretas, baseada na relatividade de Einstein sobre a geometria espacial do Universo. A partir das restrições decorrentes da radiação cósmica de fundo e da estrutura em grande escala do Universo combinadas, podemos concluir que, se o Universo é finito, ele precisa ter pelo menos 250 vezes a extensão da parte que nós observamos. Mas, por maior que seja, ainda não é infinito. Um limite inferior do Universo sendo de pelo menos 11 trilhões de anos-luz em todas as direções é tremendo, mas ainda é finito.

No entanto, há razões para que nosso Universo seja ainda maior do que isso. O *Big Bang* quente pode marcar o início do Universo observável como o conhecemos, mas não marca o nascimento do espaço e do tempo em si do Universo, o qual passou por um período de inflação cósmica (Guth, 1997) expandindo a uma taxa exponencialmente constante, e um novo espaço tão rapidamente surgiu que a menor

escala de comprimento físico, o comprimento de Planck, seria estendida ao tamanho do Universo atualmente observável a cada 10^{-43} segundos. É verdade que em nossa região do Universo a inflação acabou. Mas há três perguntas para as quais estamos à procura de respostas que têm uma influência tremenda sobre o quão grande o Universo realmente é, e se ele é infinito ou não.

1.) Qual era o tamanho da região do Universo, pós-inflação, que criou o *Big Bang*? Olhando para o nosso Universo hoje, para o quão uniforme é o brilho residual do *Big Bang*, para o quão plano o Universo é, para as flutuações que se estendem pelo Universo em todas as escalas atualmente, podemos entender o limite superior da escala de energia em que ocorreu a inflação; podemos entender também o quanto o Universo deve ter inflado, assim como, podemos compreender o limite inferior que nos indica por quanto tempo a inflação deve ter durado.

Mas a “bolha” do Universo inflando que nos originou pode ser muito, muito maior do que esse limite inferior! Pode ser centenas, ou milhões, ou googles de vezes maior do que podemos observar ... ou mesmo verdadeiramente infinito. Todavia, sem sermos capazes de observar mais do Universo do que podemos acessar atualmente, não temos informações experimentais suficientes para decidir sobre sua infinitude.

2.) A ideia de “inflação eterna” está correta? Se você considerar que a inflação deve ser um campo quântico (Guth, 1997), então, em qualquer ponto durante essa fase de expansão exponencial, há uma probabilidade de que a inflação termine, resultando em um *Big Bang*, e uma probabilidade de que a inflação continue criando mais e mais espaço. Esses são cálculos que a ciência sabe fazer, dadas certas suposições, os quais nos levam a uma conclusão aparentemente inevitável: se você quiser que ocorra inflação suficiente para produzir o Universo que vemos, então a inflação sempre criará mais espaço que continua a inflar em comparação com as regiões que acabam e produzem *Big Bang*. Embora nosso Universo observável possa ter surgido da inflação que terminou em nossa região do espaço há cerca de 13,8 bilhões de anos, há regiões nas quais a inflação continua - criando mais e mais espaço e dando origem a mais *Big Bang* - continuando até os dias atuais. Essa ideia é conhecida como inflação eterna e é geralmente considerada pela comunidade da física teórica. Qual é, então, o tamanho de todo o Universo observável agora?

3.) E, finalmente, quanto tempo durou a inflação antes de seu fim? Podemos apenas ver o Universo observável criado pelo fim da inflação e nosso *Big Bang* quente. Sabemos que a inflação deve ter ocorrido por pelo menos cerca de 10^{-32} segundos ou mais, mas

provavelmente continuou por mais tempo. Mas por quanto tempo? Por segundos? Anos? Bilhões de anos? Ou mesmo uma quantidade de tempo infinita e arbitrária? O Universo sempre esteve numa fase de inflação? A inflação teve um começo? Surgiu de um estado anterior que existia eternamente? Ou, talvez, todo o espaço e tempo emergiram do nada há uma quantidade finita de tempo? Todas essas são possibilidades, mas as respostas ainda não são testáveis.

Pelas nossas melhores observações, sabemos que o Universo é muito maior do que a parte que podemos observar (Van Helden, 1985). Além do que podemos ver, suspeitamos fortemente que há muito mais Universo, como o nosso, com as mesmas leis da física, os mesmos tipos de estruturas físicas, cósmicas e as mesmas chances de vida complexa. Deve haver também um tamanho e uma escala finitos para a “bolha” em que a inflação terminou, e um número exponencialmente grande de tais bolhas contidas no espaço-tempo maior e em expansão. Mas, por mais inconcebivelmente grande que todo o Universo possa ser, pode não ser infinito. Na verdade, a menos que a inflação continuasse por um período de tempo verdadeiramente infinito, ou o Universo tivesse nascido infinitamente grande, o Universo deveria ser finito em extensão. Enfim, neste momento, o nosso Universo, considerando a Cosmologia *Standard* e todas as evidências experimentais que a sustentam, é finito no espaço e no tempo com uma possibilidade que possa ser infinito espacialmente.

5 Metodologia

A pergunta “O Universo é finito ou infinito? Explique.”, foi realizada na UFLA, no ano 2019 presencialmente, com a participação de 527 estudantes “calouros” escolhidos aleatoriamente dos cursos de Engenharia, tais como Civil, Química, de Materiais, Mecânica, de Controle e Automação e Ambiental. O formulário foi distribuído no primeiro dia de aula. Os alunos deveriam responder de forma anônima a questão citada acima. No total, as turmas se dividiram em 44% de mulheres e 56% de homens. Quando indagados sobre a pergunta fechada, “O universo é finito ou infinito?”, obtivemos que 58% responderam que o universo é infinito, 24% disseram que o universo é finito e 18% nenhum dos dois. A seguir, foi solicitado no formulário que se argumentasse sobre a resposta escolhida no item anterior. Vale destacar que a maioria das respostas foi monossilábica. Após uma análise exploratória, cujo intuito era analisar as respostas, a qual permitiu um entendimento básico dos dados e as relações existentes

entre as variáveis analisadas, foram escolhidas respostas que não eram monossilábicas, as quais estão disponibilizadas². Não foram consideradas as respostas monossilábicas por essas não possuírem uma argumentação.

A pergunta realizada é aberta e isto inclui desafios como o equilíbrio entre a necessidade de reconhecer o alinhamento das concepções das respostas com as visões científicas aceitas de um lado e por outro lado, reconhecer a sofisticação do raciocínio (Dockett, 2014). Lidar com a complexidade da linguagem e a imprecisão do significado na análise podem ser feitas de diferentes formas (Ludke *et. al.*, 1986; Ludwig, 2009). Este trabalho se baseou na análise qualitativa e na lógica de como foram construídas as respostas.

Para analisar as respostas, foi escolhida a metodologia de análise de conteúdo, descrita por Moraes (1999), utilizando as classificações em categorias de acordo com as características dos discursos e atentando-se para que “de certo modo a análise de conteúdo, é uma interpretação pessoal por parte do pesquisador com relação à percepção que tem dos dados. Não é possível uma leitura neutra. Toda leitura se constitui numa interpretação” (Moraes, 1999, p.3). Segundo Moraes (1999), existem duas abordagens básicas de análise de conteúdo. Uma delas pode ser identificada como “... dedutiva, verificatória, enumerativa e objetiva”. A outra, em seu extremo, caracteriza-se por ser “indutiva, gerativa, construtiva e subjetiva.”. Segundo Moraes, a abordagem dedutiva-verificatória-enumerativa-objetiva se baseia em teorias e hipóteses, nas quais se busca testar ou verificar dentro dos princípios da pesquisa tradicional. As hipóteses auxiliam na orientação do processo, juntamente com a teoria, ao definir a natureza dos dados e sua organização. Nesta abordagem, as categorias são estabelecidas previamente com base na teoria, nos objetivos ou nas questões de pesquisa, exigindo, de qualquer forma, uma justificação sólida fundamentada teoricamente. É importante salientar, segundo Moraes (1999), que “os objetivos são definidos de antemão, de modo bastante preciso. Constituem parte essencial do planejamento inicial que precede e orienta as fases posteriores da pesquisa, especialmente a definição dos dados e os procedimentos específicos de análise. Numa abordagem qualitativa, construtiva ou heurística, esta construção, ao menos em parte, pode ocorrer ao longo do processo.” Em nosso caso, as perguntas em si são tidas claramente como categorias, as quais foram

² Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1dN7JkEW5r4aXP1xjYjRYM9UOIUKRWfM/view?usp=sharing>

solidamente fundamentadas nas seções “como se concebe o universo atual” e “opinião dos cientistas na atualidade sobre se o Universo é finito ou infinito”.

Para conseguir uma aproximação rigorosa dos resultados, foi utilizada a proposta de Carnielli e Epstein (2011). Esta metodologia nos auxilia na forma de abordagem das respostas coletadas. O foco foi avaliar a construção de um argumento coerente e crítico, ou seja, além da resposta dada, verificar se o seu autor a justificou e apresentou motivos coerentes que a embasam.

A análise lógica das respostas se mostrou ser uma ferramenta potencialmente útil para compreender os diferentes níveis e tipos de respostas, particularmente ao se analisar as respostas relacionadas às visões científicas aceitas, ao permitir identificar os argumentos contidos em um texto e ao avaliar sua consistência. Isto permite identificar termos relevantes, distinguir entre premissas e conclusões e, avaliar os fatos, lógicas e evidências apresentadas, além de entender a estrutura da argumentação.

6 Discussões e resultados

A partir da análise das respostas dos entrevistados sobre a pergunta “O Universo é finito ou infinito”, aplicando o método de análise de conteúdo tal como descrito por Moraes (1999), podemos classificá-las em três categorias principais: Universo Finito, Universo Infinito e Respostas Inconclusivas, devido ao fato de que o método adotado é “dedutiva, verificatória, enumerativa e objetiva”, segundo Moraes (1999).

Na categoria “Universo Finito”, foi incluída apenas uma resposta em que o entrevistado se posiciona como adepto da ideia de que este seria finito. Como justificativa, ele faz menção à expansão do Universo, sob forma de questionamento, sendo que, para ele, não é possível conceber algo de dimensões infinitas se expandindo: “Acredito que de alguma forma o Universo seja finito, apesar de sua imensidão. Como pode algo infinito se expandir? Entretanto, acredito que as descobertas a respeito do Universo sejam infinitas para o homem”. Como o entrevistado não escreve mais nada, ficamos sujeitos a fazer inferências a partir apenas desse texto. Inferimos que, ao se referir ao fato de que o Universo se expande e, por isso, ele seria finito, fica subentendida a ideia que o autor da fala faz referência a uma espécie de fronteira, onde, a partir dela, ocorre a expansão. Nessa linha, ela é conceituada como a expansão de um limite de um corpo de dimensões definidas, o qual está aumentando de tamanho. A sequência lógica do pensamento pode ser colocada da seguinte forma: "O Universo se

expande e, juntamente com ele, sua fronteira. Logo, se ele possui uma fronteira, ele é finito”. Colocando em outras palavras, interpretamos que o entrevistado se baseia no fato de que o Universo, por se expandir, possa ter seu tamanho aumentado. Ora, se o seu tamanho aumenta, é porque, logicamente, ele tem um tamanho definido, sendo assim, tem-se um Universo finito. Nesse sentido, algumas questões surgem sobre essa forma de interpretar a expansão do Universo. A expansão do Universo é algo que ocorre no espaço-tempo como um todo (Waga, 2000). As distâncias entre os corpos vão aumentando aceleradamente. E isto ocorre não pelo fato dos corpos estarem se movimentando, mas o espaço entre eles é que está se expandindo. Quando visualizamos um processo qualquer de expansão, o pensamento trivial e a experiência cotidiana nos levam a imaginar e conceber tal fenômeno como a expansão das fronteiras do objeto. Poderíamos fazer algumas analogias, tais como, um balão enchendo, o ar expandindo em um processo de aquecimento dentro de uma panela de pressão ou a expansão do império romano. Em todos os casos, o conceito de fronteira está presente e é parte significativa do mecanismo de visualização, tenha o observador ciência disso ou não. No entanto, a expansão do Universo não pode ser entendida como a expansão de uma fronteira para além, mas a expansão das distâncias como um todo, sejam elas fronteiriças do Universo observável ou as existentes dentro desse pseudo limite, uma vez que ele consiste em apenas o limite da observação humana, e não o limite físico do Universo, tal como uma “fronteira final”. Dessa forma, a argumentação de um Universo finito baseado somente no fato da sua expansão não faz muito sentido, pois em um Universo infinito, os corpos também podem estar inseridos em um espaço-tempo que se expande e a sua infinitude, em princípio, não interferiria na expansão.

Três respostas foram classificadas na categoria “Respostas inconclusivas”, sendo uma delas contraditória, pois, ao mesmo tempo em que defende um Universo finito, também defende que ele seria infinito, não sendo possível uma análise mais aprofundada. Outra resposta diz não ser possível afirmar se o Universo é infinito ou não, pois não existem leis fundamentais vigentes em todo o Universo e, dessa forma, em algumas regiões, não existiria a noção de realidade. É interessante notar que, embora o autor da afirmativa não aprofunde mais a sua argumentação para explicar essa “não existência de realidade”, a primeira parte da sua fala, referente a uma suposta não existência da validade das leis da Física em todo o Universo, encontra embasamento em teorias científicas de físicos importantes, tais como Paul Dirac, César Lattes, Fred Hoyle e Mario Novello (Novello, 2020). Para Dirac, por exemplo, o fato de o Universo se

expandir poderia fazer com que as leis da Física variassem no tempo. Mario Novello, um importante cosmólogo brasileiro, também faz críticas à validade das leis da Física por todo o Universo no sentido de que isso seria uma suposição simplificadora que os cientistas adotaram durante a história da ciência moderna, sendo a Cosmologia uma candidata a questionar essa suposição por lidar com cenários extremos, cuja validade global é posta à prova. Embora sem nenhuma comprovação, elas são linhas de pesquisa desenvolvidas dentro da ciência e, nesse caso, o discurso desse participante está próximo a elas, por outro lado, até agora, não existe uma comprovação experimental de que as leis da física não são válidas em todo o Universo. A terceira fala se refere à possibilidade de o Universo ser infinito se ele continuar se expandindo eternamente ou seria finito caso essa expansão cessasse e/ou começasse a sua contração. De fato, em um cenário de expansão eterna, seria possível viajar pelo Universo continuamente, seguindo um mesmo sentido, e nunca retornar ao ponto de partida, dependendo da sua topologia. Essa fala também faz uso de conceitos científicos na sua argumentação.

Na categoria “Universo infinito” foram classificadas vinte e duas falas. Dentro dela, foi possível encontrar outras duas categorias que chamamos de “Mencionam expansão”, englobando as falas que fizeram uso da expansão do Universo para realizar a sua argumentação, e “Não mencionam expansão”, sendo que essas foram classificadas as argumentações que não fizeram nenhuma referência à expansão do Universo. Das vinte e duas respostas, quatro foram classificadas em “Mencionam expansão”. Todas justificam o Universo como infinito pelo fato de se expandir. Uma das falas estrutura o raciocínio de forma diferente das demais, argumentando que a expansão aconteceria até certo limite, o Universo entraria em contração, também até um certo limite, e voltaria a se expandir. Esse ciclo seria eterno, o que resultaria num Universo finito em suas dimensões de expansão e contração, porém infinito na sua ciclicidade e existência. Essa argumentação possui muitos pontos em comum com a “Teoria do Universo Eterno”, cujo um dos defensores é o cosmólogo brasileiro Mario Novello (Novello, 2010). Para Novello, existe um erro conceitual ao considerar que a Teoria do *Big Bang* fala sobre a origem do Universo. Na verdade, ela trata sobre um passado em que o Universo era extremamente pequeno e denso, porém isso não significaria que a sua origem tenha sido ali. É perfeitamente possível, para ele, que o estado inicial que o modelo do Big Bang prevê seja, na verdade, uma etapa de um ciclo de expansão e contração contínuos, resultando em um Universo eterno em sua existência. Lembrando, novamente, que essa é uma teoria sem comprovação, mas, no entanto, possui seu embasamento científico.

Embora o participante da pesquisa faça uma ligação com essa teoria, ela aparece de forma implícita, uma vez que não ocorre nenhuma citação explícita da teoria nem de algum autor qualquer. Aliás, essa é uma característica presente em todas as falas de todas as categorias do trabalho. Albert Einstein, Stephen Hawking e Michio Kaku, sendo os dois últimos grandes divulgadores da ciência, são os únicos que aparecem em poucas citações. Edwin Hubble, Milton Humason, Georges Lemaître e Aleksander Friedman, autores importantes no contexto da expansão do Universo, não foram citados nenhuma vez. Todas as falas classificadas como “Não mencionam expansão” utilizam o argumento de que o homem não possui tecnologia nem meios suficientes para entender e descobrir tudo o que existe no Universo, sendo este infinito para ele. Nenhum discurso em todo o trabalho mencionou diretamente algo sobre a geometria aberta, fechada ou plana do Universo.

7 Considerações finais

O presente trabalho buscou promover um pouco da tão antiga discussão filosófica e científica acerca da pergunta se o Universo é infinito ou finito. Longe de querermos obter respostas “corretas”, até porque elas não existem nesse ponto em que a humanidade se encontra, buscamos inserir um tema complexo da Cosmologia no ambiente acadêmico da UFLA. Pela diversidade e riqueza dos variados pontos de vista, podemos ver que a discussão se assemelha ao que a literatura já descreve, ou seja, é um tema em que ainda faltam dados experimentais para se ter uma resposta conclusiva e do ponto de vista social, por ser um tema complexo, com opiniões diversas e variados posicionamentos, propomos, nesse sentido, que a opinião dos entrevistados vem de toda a interação social e cultural que os rodeia.

Neste trabalho, a pesquisa desenvolvida nas disciplinas de física básica, contracenou com outros trabalhos que trouxeram a opinião dos cientistas na atualidade sobre se o Universo é finito ou infinito e a concepção dos cientistas antigos sobre o Universo ser finito ou infinito. Isso permitiu refletir sobre a variedade de conceitos e raciocínios presentes nas respostas desses estudantes. Além disso, foi possível identificar padrões gerais de conceitos sobre o conceito da finitude do Universo, localizando, às vezes, noções elaboradas do espaço-tempo e da finitude e evolução do Universo. Ao se fazer essa análise, sugerimos complementar a pergunta proposta com

outras perguntas, as quais podem guiar no aprofundamento e raciocínio das concepções sobre a finitude do Universo.

Finalmente, considera-se que a pedagogia da pergunta proposta por Freire (1985) e a pergunta milenar sobre o tamanho do Universo permite promover o amadurecimento do pensamento criativo e crítico, e também estimular a procura do conhecimento de maneira contínua.

Agradecimento

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Referências

- ADE, P. A. *et al.* Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. **Astronomy & Astrophysics**, Suíça, v. 571, n. A16, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321591>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- BACCA, J. D. G. **Infinito, transfinito, finito**. Barcelona: Anthropos Editorial, 1984.
- BAILES, M.; BERGER, B.K.; BRADY, P.R. *et al.* Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s. **Nat Rev Phys**, Londres, v. 3, p. 344–366, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42254-021-00303-8>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- BENTO, F. A. P.; NOGALES, J. A. C. Cosmology for high school. **ArXiv**, arXiv:2108.08692v1, 19 ago. 2021. *Preprint*. DOI 10.48550/arXiv.2108.0892. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.0892>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- BOYLAN-KOLCHIN, M.; WEISZ, D. R. Uncertain times: the redshift–time relation from cosmology and stars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 505, n. 2, p. 2764–2783, 2021. DOI 10.1093/mnras/stab1521. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1521>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- CAMPOS, E.; HERNANDEZ, E.; BARNIOL, P.; ZAVALA, G. Phenomenographic analysis and comparison of students’ conceptual understanding of electric and magnetic fields and the principle of superposition. **Physical Review Physics Education Research**, v. 17, n. 2, p. 020117, 2021. DOI 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020117. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020117>. Acesso em: 23 jan. 2023.
- CARNIELLI, W. A.; EPSTEIN, R. L. **Pensamento crítico: o poder da lógica e da argumentação**. 5 ed. Brasil: Rideel, 2010.

CLARK, D. H.; CLARK, M. D. H. **Measuring the Cosmos: How scientists discovered the dimensions of the Universe**. New Brunswick, New Jersey e London: Rutgers University Press, 2004.

CONSENTINO, M. “Infinito”, “Infinito categoremático e sincategoremático”, “Infinito matemático”, “Análise infinitesimal” e outros na Enciclopédia Filosófica Bompiani. Estado da Arte, 8 dez. 2014. *Podcast*. Disponível em: https://www.academia.edu/29623243/O_Infinito. Acesso em: 23 de jan 2023.

DOCKTOR, J. L.; MESTRE, J. P. Synthesis of discipline-based education research in physics. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 10, n. 2, p. 020119, 2014. DOI 10.1103/PhysRevSTPER.10.020119. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>. Acesso em: 23 de jan 2023.

ELLIS, G. F.; MEISSNER, K. A.; NICOLAI, H. The physics of infinity. **Nature Physics**, v. 14, n.8, p. 770-772, 2018. DOI 10.1038/s41567-018-0238-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41567-018-0238-1>. Acesso em: 23 de jan 2023.

ERIKSSON, U.; LINDER, C.; AIREY, J.; REDFORS, A. Who needs 3D when the Universe is flat?. **Science Education**, v. 98, n. 3, p. 412-442, 2014. DOI 10.1002/sce.21109. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sce.21109>. Acesso em: 23 de jan 2023.

EVANS, R. **The Cosmic Microwave Background: How It Changed Our Understanding of the Universe**. New York: Springer, 2015.

WENDY Freedman. *In*: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. [São Francisco, CA: Fundação Wikimedia], 2020. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Wendy_Freedman. Acesso em: 23 de jan. 2023.

FREIRE, P. **Por uma pedagogia da Pergunta**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985.

GOTT III, J. R.; JURIC, M.; SCHLEGEL, D.; HOYLE, F.; VOGELY, M.; TEGMARK, M.; BRINKMANN, J. A Map of the Universe. **The Astrophysical Journal**, v. 624, n. 2, p. 463, 2005. DOI 10.1086/428890. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/428890>. Acesso em: 23 de jan. 2023.

GUTH, A. **The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins**. Perseus, 1997.

HAWKING, S. **A Brief History of Time**. New York: Bantam, 1998.

HELLER, M.; WOODIN, W. H. (Eds.). **Infinity: new research frontiers**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

HIGHFIELD, R. Zeros to heroes: What's the point of electricity? **New Scientist**, v. 207, n. 2777, p. 34, 2010. DOI 10.1016/S0262-4079(10)62210-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0262407910622105?via%3Dihub>. Acesso em: 23 de jan. 2023.

HØG, E. Astrosociology: Interviews about an infinite universe. **ArXiv**, arXiv: 1408.4795, 19 ago. 2021. *Preprint*. DOI 10.48550/arXiv.1408.4795. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1408.4795>. Acesso em: 23 jan. 2023.

HOSSENFELDER, S.; MCGAUGH, S. S. Is dark matter real? **Scientific American**, v. 319, n. 2, p. 36–43, 01 ago. 2018. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/is-dark-matter-real/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

HUBBLE, E. A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 15, n. 3, p. 168-173, 1929. DOI 10.1073/pnas.15.3.168. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.15.3.168>. Acesso em: 23 jan. 2023.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Rio de Janeiro: Forense, 1986.

LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: A conceptual overview. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000. DOI 10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C). Acesso em: 23 jan. 2023.

LEIBUNDGUT, B. Modern Cosmology – nearly perfect but incomplete. **Spatium**, Published by the Association Pro ISSI, Suíça, n. 47, 2021. Disponível em: <https://www.issibern.ch/wp-content/uploads/Spatium47.pdf>. Acesso em: 23 de jan. 2023.

LEVINAS, E. **Totalité et infini: essai sur l'extériorité**, 1961.

LÉVY, T. **Figures de l'infini: les mathématiques au miroir des cultures**. Paris: FeniXX, 1987.

LUCRÉCIO. **Sobre a natureza das coisas**. Tradução de Rodrigo Tadeu Gonçalves. Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2021.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. **Em Aberto**, v. 5, n. 31, p. 43-48, 1986. DOI 10.24109/2176-6673.emaberto.5i31.1605. Disponível: <https://emaberto.inep.gov.br/ojs3/index.php/emaberto/article/view/1971>. Acesso em: 23 jan. 2023.

LUDWIG, A. C. W. **Fundamentos e prática de metodologia científica**. 1 ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

MAOR, E. **To Infinity and Beyond: A Cultural History of the Infinite-New Edition**. New Jersey: Princeton University Press, 2017.

MONDOLFO, R. **O infinito no pensamento da antiguidade clássica**. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1968.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5314158/mod_folder/content/0/Moraes%20AN%C3%81LISE%20DE%20CONTE%C3%9ADO%201999.pdf. Acesso em: 23 jan. 2023.

MORRIS, R. **Uma breve história do infinito**. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.

NOVELLO, M. As leis da Física e a Criação do Mundo. **Cosmos & Contexto- Revista eletrônica de cosmologia e cultura**, 2020. Disponível em: <https://cosmosecontexto.org.br/as-leis-da-fisica-e-a-criacao-do-mundo/>. Acesso em: 15 de dez. 2022.

NOVELLO, M. **Do Big Bang ao Universo eterno**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

OSTRIKER, J. P.; MITTON, S. **Heart of Darkness: Unraveling the mysteries of the invisible universe**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2013.

PAIS, A. **Subtle is the Lord . The Science and life of Albert Einstein**. New York: Oxford University Press, 1982.

ROVELLI, C. **A realidade não é o que parece**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2017.

ROVELLI, C.; SMOLIN, L. Knot theory and quantum gravity. **Physical Review Letters**, v. 61, n.10, p. 1155, 1988. DOI 10.1103/PhysRevLett.61.1155. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.61.1155>. Acesso em: 15 de dez. 2022.

SALIMPOUR, S.; TYTLER, R.; ERIKSSON, U.; FITZGERALD, M. Cosmos visualized: Development of a qualitative framework for analyzing representations in cosmology education. **Physical Review Physics Education Research**, v.17, n.1, p. 013104, 2021. DOI 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.013104 . Disponível em: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.013104>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SALIMPOUR, S.; TYTLER, R.; FITZGERALD, M. T.; ERIKSSON, U. Is the Universe Infinite? Characterising a Hierarchy of Reasoning in Student Conceptions of Cosmology Concepts Using Open-Ended Surveys. **Journal for STEM Education Research**, v. 6, p. 102-129, 2023. DOI 10.1007/s41979-023-00088-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00088-8>. Acesso em: 23 jan. 2023.

STEWART, D. J. **The truly infinite universe: Hegel, Hawking, and the quantum cosmology of the absolute**. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 2019.

VAN HELDEN, A. **Measuring the universe: cosmic dimensions from Aristarchus to Halley**. Chicago: University of Chicago Press, 1985.

VIEIRA, E. Representação mental: as dificuldades na atividade cognitiva e metacognitiva na resolução de problemas matemáticos. **Psicologia: reflexão e crítica**, v. 14, p. 439-448, 2001. DOI 10.1590/S0102-79722001000200017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-79722001000200017>. Acesso em: 23 jan. 2023.

WAGA, I. A expansão do universo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p.163-175, 2000. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_163.pdf. Acesso em: 23 jan. 2023.

WALLACE, D. F. **Everything and more: a compact history of infinity**. New York: WW Norton & Company, 2010.

WEINBERG, S. **The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe**. New York: Basic Books, 1977.

ZELLINI, P. **Breve storia dell'infinito**. Milano: Adelphi Edizioni spa, 2011.

Recebido em: 8 de junho de 2023

Aceito em: 23 de novembro de 2023