UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO CARVALHO BIRZNEK

A EVOLUÇÃO DAS TEORIAS COSMOLÓGICAS: DA VISÃO DO UNIVERSO DOS POVOS ANTIGOS ATÉ A TEORIA DO BIG BANG.

CURITIBA

2015

FERNANDO CARVALHO BIRZNEK

A EVOLUÇÃO DAS TEORIAS COSMOLÓGICAS: DA VISÃO DO UNIVERSO DOS POVOS ANTIGOS ATÉ A TEORIA DO BIG BANG.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do titulo de Licenciado em Física na Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Lauro Luiz Samojeden

CURITIBA
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ATA DA 1ª APRESENTAÇÃO E ARGUIÇÃO ORAL DE TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de junho de 2015, as 9 horas e 30 minutos, na sala PE04, do Departamento de Física, no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, compareceu o acadêmico **Fernando Carvalho Birznek**, aluno do Curso de Licenciatura em Física do Setor de Exatas da Universidade Federal do Paraná, para fazer a primeira apresentação e arguição oral da história do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Paraná, relativa ao seu **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**, intitulado "**A evolução das teorias cosmológicas: da visão do universo dos povos antigos até a teoria do Big Bang**", orientado pelo professor **Lauro Luiz Samojeden**, perante a banca examinadora, que foi assim constituída: Prof. Dr. Lauro Luiz Samojeden, como Presidente da Banca, Prof. Dr. Sérgio Luiz Meister Berleze, como 1° Membro da Banca e o Prof. Dr. Sérgio Camargo, como 2° Membro da Banca. Após assistirem a exposição do acadêmico acima nomeado e arguirem-no sobre diferentes aspectos do TCC apresentado, os membros da banca reuniram-se para atribuição da nota final, a qual foi 8,5 (oito e meio), de acordo com o **Relatório de Avaliação de TCC**, que acompanha esta Ata, estando o acadêmico aprovado na disciplina TCC2, com a recomendação de que todas as sugestões de correções indicadas pela Banca sejam atendidas e que a versão definitiva do TCC seja entregue conforme as regras estabelecidas pelo Colegiado de Curso e no prazo fixado. A nota final foi comunicada ao acadêmico. Nada mais havendo a ser tratado, o Presidente da Banca declarou encerrada a seção e todos os membros da Banca assinaram a presente Ata.

Prof. Dr. Lauro Luiz Samojeden
Presidente da Banca

Prof. Dr. Sérgio Luiz Meister Berleze
1° Membro da Banca

Prof. Dr. Sérgio Camargo
2° Membro da Banca

Fernando Carvalho Birznek,
Orientando

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a alguns amigos que me incentivaram a prestar o vestibular, pois sem esse incentivo não teria realizado o concurso e não teria feito o curso de Licenciatura em Física no qual tomei cada vez mais gosto pela Física e pela profissão docente. A todos os professores com quem tive aulas, pois através deles aprendi cada vez mais, aos amigos que estiveram comigo ao longo do curso e principalmente aqueles que me ajudaram nessa reta final. A minha família e a todos que de alguma maneira me ensinaram algo. Por fim ao meu orientador Professor Doutor Lauro Luiz Samojeden por me orientar nesse trabalho, prestando sua ajuda, tendo paciência com meus erros e me auxiliando a apresentar um trabalho de monografia da melhor maneira para os leitores.

Por que alguma coisa existe em vez do nada? Pois o “nada” é mais simples que “alguma coisa”. [...] É necessário, assim, que a razão suficiente para a existência do universo que não tem necessidade de nenhuma outra razão, esteja fora da série das coisas contingentes e se encontre em uma substância que lhes seja causa ou então que seja um Ser necessário, portando em si a razão da sua existência; de outro modo, não se teria ainda uma razão suficiente onde pudesse parar.

Gottfried Wilhelm Leibniz

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo apresentar a evolução das concepções acerca do Universo e das ideias que levaram a construção dos modelos cosmológicos em cada época da história humana, ou seja, de que forma era explicada a origem do Universo, o que era o Universo e como ocorreu o aperfeiçoamento de tais modelos cosmológicos, até a chegada do modelo mais aceito na atualidade. Para tanto foi realizada uma pesquisa bibliográfica, utilizando como fontes principalmente livros, artigos e internet, havendo a preocupação especial com as informações sobre a evolução das explicações sobre o Universo. Posteriormente foi feita uma abordagem histórica desde os pensadores do passado e seu entendimento sobre a origem do Cosmo até a construção do modelo cosmológico mais aceito atualmente, conhecido como modelo cosmológico padrão ou *Big Bang*. As ideias que levaram a construção desse modelo, levando em consideração a evolução das concepções, foram construídas há pouco tempo, tendo inicio no começo do século XX. Veremos que antes desse modelo vários outros foram propostos ao longo da história. Começaremos então com as primeiras explicações dadas pelas primeiras civilizações, posteriormente passaremos pelos gregos, pela Idade Média, chegando até o modelo atual da cosmologia. Desse modo veremos como a Cosmologia evoluiu durante esse tempo, a apresentação da história no sentido da evolução das concepções acerca do Universo, os processos que levaram ao aperfeiçoamento dos modelos e a busca por um modelo que compreenda as questões ainda em aberto.

Palavra chave: História da Cosmologia. Universo. Modelos Cosmológicos.

ABSTRACT

This paper aims to present the evolution of conceptions of the universe and the ideas that led to the construction of cosmological models in every period of human history, in other words, how it was explained the origin of the universe, which was the universe and how the improvement was of such cosmological models, until the arrival of the most accepted model today. For this purpose a literature search was performed using as sources mainly books, articles and internet, with special attention to the information on the evolution of explanations of the universe. It was later made a historical approach from the thinkers of the past and their understanding of the origin of the cosmos to the construction of the cosmological model most widely accepted today, known as cosmological model or standard Big Bang. The ideas that led to the construction of this model, taking into account the evolution of the concepts have been built recently, and beginning in the early twentieth century. We will see that before this model, several others were proposed throughout history. Then we will begin with the first explanations provided by the first civilizations, then pass by the Greeks, the Middle Ages, reaching the current model of cosmology. Thus we will see how cosmology evolved during that time, the presentation of history in the sense of changing conceptions of the universe, the processes that led to the improvement of models and the search for a model that understands the issues still open.

Keyword: Cosmology. Cosmology history. Cosmological models.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA MUNDI E AS REGIÕES DE ALGUNS MITOS 16
FIGURA 2 - UNIVERSO BABILÔNICO 19
FIGURA 3 - UNIVERSO EGÍPCIO 20
FIGURA 4 - UNIVERSO DE TALES..... 28
FIGURA 5 - UNIVERSO DE ANAXIMANDRO 29
FIGURA 6 - UNIVERSO DE FILOLAU 32
FIGURA 7 - SÓLIDOS PLATÔNICOS..... 34
FIGURA 8 - UNIVERSO DE HERÁCLIDES 35
FIGURA 9 - UNIVERSO DE ARISTÓTELES 35
FIGURA 10 - EPICICLOS..... 37
FIGURA 11 - UNIVERSO DE PTOLOMEU 38
FIGURA 12 - UNIVERSO DE COPÉRNICO 43
FIGURA 13 - UNIVERSO DE THOMAS DIGGES..... 44
FIGURA 14 - UNIVERSO DE TYCHO BRAHE 45
FIGURA 15 - PRIMEIRO MODELO DE KEPLER 46
FIGURA 16 - SEGUNDA LEI DE KEPLER..... 47
FIGURA 17 - PRIMEIRA LEI DE KEPLER 48
FIGURA 18 - LUAS DE JÚPITER 50
FIGURA 19 - FASES DE VÊNUS..... 51
FIGURA 20 - MOVIMENTO ORBITAL 54
FIGURA 21 - FORMAÇÂO DO UNIVERSO SEGUNDO KANT 57
FIGURA 22 - UNIVERSO DE HERSCHEL 58
FIGURA 23 - AUMENTO DO COMPRIMENTO DE ONDA..... 63
FIGURA 24 - PARALAXE ESTELAR 66
FIGURA 25 - RELAÇÃO DISTÂNCIA-GALÁXIA..... 68
FIGURA 26 - UNIVERSO ESTADO ESTACIONÁRIO 72
FIGURA 27 - DADOS OBTIDOS PELO SATÉLITE COBE 76
FIGURA 28 - MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO..... 78
FIGURA 29 - MAPA DA RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO..... 84
FIGURA 30 - LENTE GRAVITACIONAL 87
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ESCURA 87

FIGURA 32 - FEIXES DE LUZ VIAJANDO EM GEOMETRIAS DIFERENTES 88
FIGURA 33 - RADIAÇÃO DE FUNDO E CURVATURA DO ESPAÇO 89

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - MODELOS DE UNIVERSO SEGUNDO FRIEDMANN 64
GRÁFICO 2 - DADOS OBTIDOS POR HUBBLE E HUMANSON..... 67
GRÁFICO 3 - ÉPOCA INFLACIONÁRIA..... 79
GRÁFICO 4 - PERÍODO DE DOMÍNIO DA RADIAÇÃO E DA MATÉRIA..... 83
GRÁFICO 5 - VELOCIDADE ORBITAL DOS PLANETAS 86
GRÁFICO 6 - CURVA DE ROTAÇÃO DA GALÁXIA DE ANDRÔMEDA 86
GRÁFICO 7 - QUANTIDADE DE MATÉRIA NO UNIVERSO..... 88
GRÁFICO 8 - DADOS DAS SUPERNOVAS DE GALÁXIA DISTANTES..... 91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 OBJETIVO GERAL E METODOLOGIA 13
2 O COSMO 15
2.1 E ASSIM SURGEM AS PRIMEIRAS EXPLICAÇÕES 15
2.2 MITOS SOBRE O UNIVERSO 17
3 OS PENSADORES GREGOS 27
3.1 FLORESCE UM NOVO PENSAMENTO 27
4 A CIÊNCIA RETORNA AO PASSADO 40
4.1 A ESFERA TORNA-SE UM CÍRCULO PLANO 40
4.2 O VELHO NOVO MODELO 43
4.3 NOVAS HIPÓTESES PARA O SURGIMENTO DO UNIVERSO 53
5 A COSMOLOGIA MODERNA 62
5.1 NOVOS MODELOS PARA O UNIVERSO 62
5.2 AS OBSERVAÇÕES DEFINEM UM CAMINHO 66
5.3 MODELO DO ESTADO ESTACIONÁRIO 72
5.4 GEORGE GAMOW E O MODELO DO *BIG BANG* 73
5.5 *BIG BANG* X ESTADO ESTACIONÁRIO 75
6 A ESTRUTURA DA TEORIA DO BIG BANG 78
6.1 A ÉPOCA INFLACIONÁRIA 79
6.2 NUCLEOSSÍNTESE 82
6.3 RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO 84
6.4 IDADE ESCURA 86
6.5 GEOMETRIA E MATÉRIA DO UNIVERSO 86
6.6 ENERGIA ESCURA E A EXPANSÃO ACELERADA DO UNIVERSO 91
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 94
REFERÊNCIAS 97

1 INTRODUÇÃO

Em uma noite com o céu limpo que apresente condições adequadas para observações podemos notar principalmente a existência de vários “pontos luminosos”, alguns mais brilhantes outros menos, somos ensinados que são estrelas e logo as associamos como sendo iguais ao “nosso” Sol. (Em um seriado apresentado por Carl Sagan chamado COSMOS[1], alguns povos antigos relacionavam como sendo fogueiras de outros povoados distantes). Podemos observar também a Lua sendo iluminada pelo Sol e misteriosamente pode aparecer um ponto luminoso como se fosse uma estrela se movendo rapidamente, será um OVNI[2] ou um simples satélite que reflete a luz do Sol como a Lua? Se tivermos sorte veremos cometas ou estrelas cadentes pela atmosfera terrestre e se realmente tivermos muita sorte, poderemos observar, como Tycho Brahe em 1572, uma supernova. Tais pontos e a própria Lua desde tempos remotos são objetos de indagações de diferentes ordens feitas pelo ser humano. Da formulação desses questionamentos e da busca por respostas aos mesmos temos a construção de um conhecimento formado a partir das mais diferentes explicações, que inicialmente são o foco de nossa abordagem histórica e que nos levarão até a concepção dos modelos cosmológicos atuais. Sendo assim podemos em um primeiro momento nos concentrarmos nas questões básicas que levaram algumas civilizações a apresentarem explicações para o surgimento do Universo. Nós mesmos ao observarmos a imensidão do Universo acabamos filosofando e pensando em várias questões como, por que existe tanta escuridão? Por que existem esses pontos brilhantes? Estamos sozinhos? Teve um início? Terá um fim? Como tudo isso surgiu?

São tantas as perguntas que podem surgir e muitas pessoas as fizeram, será que um dia conseguiremos responder todas? Para responder as

[1] COSMOS foi um famoso seriado de televisão nos anos 80 realizado por Carl Sagan e sua esposa Ann Druyan, onde Sagan retrata vários temas como seleção natural, galáxias, filósofos gregos, big bang, energia escura entre outros assuntos.

[2] OVNI significa objeto voador não identificado, criado pela força aérea dos Estados Unidos (USAF) com o termo UFO (unidentified flying object) designado como sendo qualquer objeto não identificado, mas popularmente conhecido como sendo objetos voadores de seres de outros planetas.

diversas perguntas que surgem sobre o Universo temos quatro áreas do conhecimento que se dedicam a respondê-las. A primeira talvez seja a mais conhecida delas, que é a Astronomia, explicando de uma maneira simples é o ramo da ciência que lida com corpos celestes (como galáxias, estrelas, planetas, etc) e fenômenos que se encontram além da atmosfera da Terra. Não podemos confundir Astronomia com Astrologia[3], apesar de alguns cientistas como Johannes Kepler terem a utilizado para sobreviver.

A segunda é a Astrofísica, que é um ramo da Astronomia que lida com a física dos objetos astronômicos (como luminosidade, densidade, temperatura e composição química) e fenômenos relacionados. O terceiro pouco conhecido é a Astrobiologia que se preocupa principalmente em estudar a origem e o futuro da vida no Universo. E o quarto que será o tema dessa monografia é a Cosmologia, que estuda a origem, evolução, estrutura e a composição do Universo como um todo.

Tendo como base o tema cosmologia, veremos que ao longo da história humana surgiram várias explicações para a formação, organização e evolução do Universo, tais ideias já vêm sendo dadas há muito. Somente a partir do início do século XX é que realmente começamos a compreender a dimensão do nosso Universo e o fato de que não estamos em nenhum lugar privilegiado do mesmo. Observações indicam que o Universo está se expandindo e que em algum tempo no passado toda essa imensidão estava concentrada em um único ponto. Bilhões de anos depois, com toda a evolução do Universo, alguns seres de um pequeno planeta, tentam então construir explicações para tudo isso. Veremos como as observações, junto com teorias físicas, descrevem tal evolução e como se chegou ao modelo cosmológico atual.

Pensando em uma escala cosmológica e considerando que o Universo tenha 13,7 bilhões de anos, podemos fazer uma analogia como feita por Carl Sagan no primeiro episódio do seriado COSMOS. Onde se tem um calendário cósmico que tem como base a idade do Universo, ou seja, um ano nesse calendário compreenderia a idade do Universo, um mês teria 1,14 bilhão de anos, cada dia representaria 38,5 milhões de anos, cada segundo

[3] Astrologia do grego astron (astros) e logos (estudo) é considerada uma pseudociência no qual não tem qualquer vínculo com conceitos físicos. Trata-se em predizer os acontecimentos da vida de uma pessoa através dos movimentos dos corpos celestes.

teria 445,6 anos e apenas nos últimos dez segundos do calendário cósmico temos o início da nossa história. Extrapolando e pensando no início da cosmologia moderna que começou a cerca de 100 anos atrás e comparando com esse calendário temos quase 1/5 de um segundo, podemos perceber que nossos estudos mais aprofundados sobre a origem começou há muito pouco tempo e nossa ciência pode ser descrita como em uma famosa frase de Albert Einstein "*toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.*".

1.1 OBJETIVO GERAL E METODOLOGIA

O Objetivo desse trabalho é descrever como ocorreu a evolução das ideias sobre o Universo, ou seja, as explicações para a origem do mesmo, seus constituintes, nossa localização (se estamos no centro ou não), apresentar os vários modelos propostos para o Universo, a "evolução" das concepções e dos meios pelos quais se chegaram a muitas das conclusões que desses fazem parte, chegando até a construção do atual modelo do Universo. Mostrar que nada foi construído do dia para a noite e tudo que se desenvolveu foi devido à contribuição de várias pessoas, mesmo sendo de épocas diferentes. Veremos que novos pensamentos podem mudar totalmente o panorama do conhecimento. Começaremos desde as primeiras tentativas de compreender o Universo nos chamados mitos[4] que não devem ser vistos como simples lendas, cada mito têm seus seres sobrenaturais com significados profundos que podem representar fenômenos da natureza, características dos seres humanos, até a criação e explicações de tudo sobre o Universo. Como citado, foram as primeiras tentativas de compreender a natureza e devem ser respeitadas. Nesse trabalho abordaremos apenas como era a ideia de criação do Universo para os diversos povos das diferentes regiões de acordo com suas crenças.

[4] Mitos são caracterizados como sendo "*histórias que descreviam como um ou vários personagens sobrenaturais [...] fizeram o mundo primitivo, criaram os animais, as plantas, os homens e estabeleceram os costumes, as leis, a estrutura da sociedade*" (MARTINS, 2012, p. 6).

Após essa retrospectiva, avançaremos buscando o máximo de pensadores que propuseram ideias para tentar explicar como o Universo surgiu, se ele é infinito ou finito, o que existe nele, etc. Após os mitos, passaremos pelos pensadores gregos e pela Idade Média. Veremos as contribuições de Galileu Galilei, Johannes Kepler, René Descartes, Isaac Newton, Albert Einstein, George Gamow, entre tantos outros cientistas, até chegar ao modelo cosmológico mais aceito na atualidade, que é a teoria do Big Bang. Por que ele é o mais aceito, responderemos ao longo do nosso trabalho.

O estudo sobre a origem do Universo, como já citado, vem sendo realizado há muito tempo e é um tema que gera uma grande curiosidade, tendo muitas pessoas buscando essa resposta, mas que é de difícil explicação científica. O estudo sobre o Universo foi muito influenciado ao longo da história, como exemplo, o período da Idade Média, onde as ideias estabelecidas sobre o Universo não podiam ser contestadas. Atualmente temos um modelo, que muitas pessoas já ouviram falar, que é a Teoria do *Big Bang*. Assim proponho não apenas um relato do modelo atual do Universo, mas também apresentar as muitas ideias acerca da origem do Universo que foram propostas e que ainda vem sendo, para essa que é uma questão que não está completamente respondida, o que nos traz mais uma vez a ideia de evolução das concepções e dos meios pelos quais foram construídos os modelos ao longo do tempo, como exemplo, a natureza da matéria escura e energia escura. Esperamos que o leitor compreenda como ocorreu toda essa evolução e que tenha o conhecimento básico do atual modelo do Universo.

Essa monografia foi feita com base na leitura de livros, artigos de periódicos, apostilas, matérias disponíveis na internet, e vídeos de series de televisão. As pesquisas foram todas feitas com base no tema Cosmologia e a evolução sobre as concepções do Universo através dos tempos, de modo que esse trabalho é caracterizado como uma pesquisa de natureza bibliográfica e tudo contido nele foi elaborado a partir de materiais já publicados. Realizamos um trabalho de pesquisa sobre esse tema, de modo a reunir uma grande quantidade de informações sobre os diversos pensadores que propuseram explicações sobre a origem do Universo e essas informações foram sintetizadas de modo a apresentar os modelos de cada época e como as ideias de alguns pensadores permaneceram e influenciaram os modelos atuais.

2 O COSMO

Neste capítulo vamos tratar das explicações sobre o cosmo (ou Universo), começando pelos registros desde os primeiros povoados até as várias civilizações localizadas em diferentes regiões de nosso planeta. Devemos lembrar que os modelos de Universo para tais civilizações eram bem diferentes das concepções que temos atualmente.

2.1 E ASSIM SURGEM AS PRIMEIRAS EXPLICAÇÕES

A idade do Universo é estimada em 13,7 bilhões de anos (veremos mais adiante como esse cálculo é feito), a Terra teria se formado há aproximadamente 4,5 bilhões de anos e há cerca de 200 mil anos se tem o desenvolvimento do homem moderno (*Homo sapiens*). O homem moderno, com o passar do tempo foi desenvolvendo algumas habilidades como a agricultura, a domesticação, a escrita, etc. Antes dessa evolução era comum ser nômade, ou seja, o homem não vivia em uma única região, estava sempre em movimento.

Talvez com essa quebra de paradigma, de uma vida nômade para uma vida que se estabelece em um local, criando pequenos povoados, pode ter proporcionado a essas pessoas notarem com mais cuidado a natureza. Observando mais atentamente o que ocorre nela e começando a criar superstições para os fenômenos naturais que ocorriam. Acreditava-se que tais fenômenos

> eram controlados por espíritos com emoções humana, agindo de maneira tão semelhante à dos homens, mas imprevisível. Tais espíritos habitariam os objetos naturais como rios e montanhas, incluindo corpos celestes, como o Sol e a Lua. Eles deviam ser aplacados para distribuírem suas bênçãos e assim garantir a fertilidade do solo e a mudança das estações. (HAWKING, 1988, p. 234)

Por exemplo, muitos povos faziam danças cerimoniais para que os espíritos dos antepassados, da terra ou do céu, ajudassem a trazer a chuva de modo a terem uma colheita melhor para o povoado. Esse é apenas um exemplo, mas existem várias outras cerimônias dedicadas a casamento, a enterrar os mortos, a festas, etc.

Não sabemos exatamente quando surgiu a pergunta “por que ocorrem esses fenômenos?”, mas a primeira tentativa de compreendê-los foi dada através de deuses ou divindades. Nesse sentido tem-se a chamada Cosmologia Mágica do período Neolítico, onde os fenômenos da natureza tinham como explicação entidades divinas e esse era o Universo, ou seja, o povoado e a natureza ao seu entorno com seus fenômenos (causados por deuses). Os acontecimentos da vida das pessoas eram caracterizados como fenômenos sobrenaturais. Evoluindo um pouco se tem a Cosmologia Mítica que tenta explicar não só os fenômenos causados pelos deuses, mas como devido a eles o Universo seria criado (ON, 2009, p. 12).

A seguir veremos as primeiras tentativas de explicações que os povos de diferentes regiões do planeta deram para a origem do Universo. Conforme escreveu Gleiser (2006, p.15) “*Mitos de criação e modelos cosmológicos têm algo de fundamental em comum: ambos representam nossos esforços para compreender a existência do Universo*”, assim veremos que apesar de serem mitos, foram as diversas maneiras como nossos antepassados tentaram explicar a origem dos fenômenos e do Universo, cada um com seus deuses, cada um em sua região. Vamos explorar então várias culturas e seus mitos seguindo a figura 1.

Dentre todos os mitos que discutiremos, destacaremos principalmente como esses povos descreviam o surgimento do Universo. Será que todos davam essa explicação através de deuses? O que o Universo era para eles? É importante salientar que para esses povos o modelo de Universo era bem diferente da concepção que temos atualmente. Hoje com nossa tecnologia sabemos que existem outras galáxias, planetas e objetos tão imensos que até nossa imaginação chega a duvidar, mas naquela época o Universo era apenas até onde a visão alcançava ou até onde o raciocínio (ou imaginação) levava. O que não difere muito do que fazemos ainda hoje, com muito mais tecnologia para observar cada vez mais longe, mas mesmo assim nossas observações

chegam ao limite e temos que usar apenas nosso raciocínio para continuar a avançar e acreditar que a natureza segue o que imaginamos.

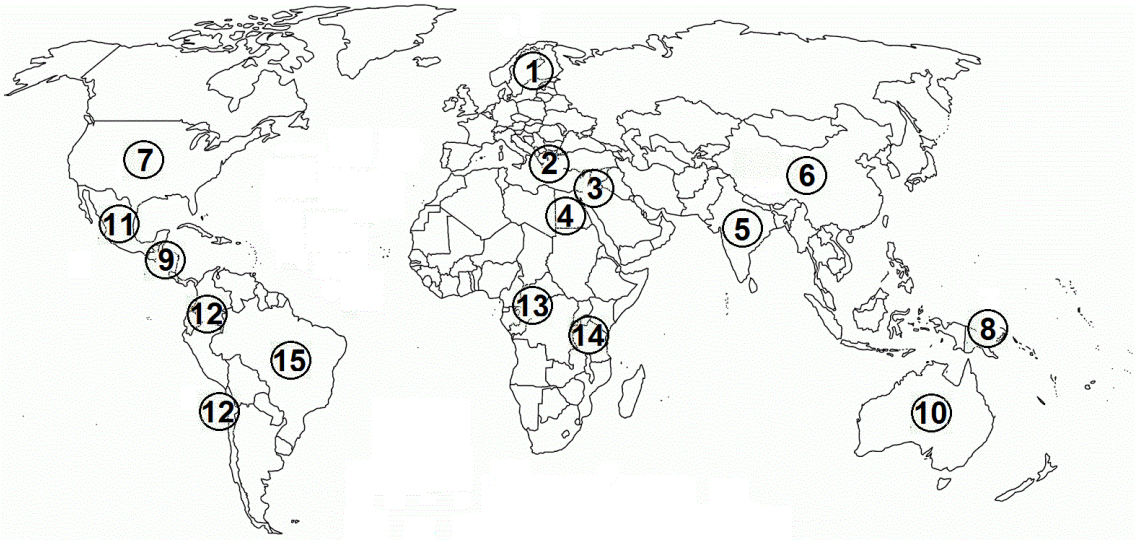

FIGURA 1: MAPA MUNDI E AS REGIÕES DE ALGUNS MITOS
FONTE: GEOENSINO. Modificado pelo autor (2015)

2.2 MITOS SOBRE O UNIVERSO

Mitologia Nórdica (1) (países escandinavos – Noruega, Suécia e Dinamarca): Para o surgimento do Universo segundo a mitologia nórdica temos:

> Primeiro, havia o Caos, que era o Nada no Mundo, e isto era tudo quanto nele havia, nem Céu, nem Mar, nem Terra – nada disto havia. Apenas três reinos coexistiam: o Ginnungagap (o Grande Vazio), abismo primitivo e vazio, situado entre Musspell (o Reino do Fogo) e Niflheim (a Terra da Neblina), terra da escuridão e das nevoas começaram a subir lentamente das profundezas do Niflheim e formaram no medonho abismo de Ginnungagap um gigantesco bloco de gelo. Das alturas abominavelmente tórridas do Musspell, desceu um ar quente e este encontro do calor que descia com o frio que subia de Niflheim começou a provocar o derretimento do imenso bloco de gelo. Após mais alguns milhares de eras – pois que o tempo, então, não se media pelos brevíssimos anos de nossos afobados calendários – o gelo foi derretendo e pingando e deixando entrever, sob a outrora gelada e espessa capa branca, a forma de um gigante. (FRANCHINI, SEGANFREDO, 1979, p.9).

A partir desse gigante e com os vários processos que ocorriam surgiriam os deuses e outras criaturas. A criação dos humanos teria sido realizada por três deuses (Wotan/Odin, Vili e Ve) que surgiram por meio desse gigante, esses três deuses, utilizando dois troncos de madeira fizeram um homem e uma mulher, "*Wotan deu a vida e o alento; Vili, a inteligência e os sentimentos; e Ve, os sentidos da visão e da audição.*" (FRANCHINI, SEGANFREDO, 1979, p. 11). Percebemos que o Universo sempre existiu, mas que a partir de um dado momento sem ter intervenção divina e através de um processo natural entre o fogo e a neblina teriam surgido as formas de vida e posteriormente com uma intervenção divina o homem e a mulher. Não se sabe exatamente como tal mitologia foi criada, mas o interessante é perceber que não se teve um início, o cosmo sempre existiu, mas devido ao Caos e suas subdivisões, o Universo foi se moldando de modo que com o passar do tempo vidas foram surgindo.

Mitologia grega (2): Os textos mais antigos sobre a mitologia grega vêm das obras de Homero (Ilíada e Odisseia) e as obras de Hesíodo. Na Ilíada e Odisseia o mundo estava contido dentro de uma esfera achatada (ou esfera oblato), fazia a analogia como se cada calota da esfera fosse um prato. A Terra era representada como sendo a deusa Gaia (calota de baixo) e os céus o deus Urano (calota de cima), na borda, o céu e a Terra se encontravam, e toda a terra seca se encontrava no meio cercada pelo oceano, e segundo Homero esse oceano dava origem aos deuses e a todas as coisas. (MARTINS, 2012, p. 21-22).

Outro modelo de Universo é descrito na "Teogonia[5]" de Hesíodo. Tudo se originou a partir do Caos, tendo dado origem primeiro a Terra (Gaia), ao Tártaro (escuridão inicial) e Eros representando o desejo, e devido a ele os deuses que vieram em seguida procriaram e deram origem a novos deuses. O universo é representado como sendo a Terra apoiada no Tártaro e ele por sua vez apoiado no Caos. "*Em autores posteriores, o mundo conhecido é imaginado como se fosse uma bolha no meio do Caos, que o cerca por todos os lados.*" (Ibid, p. 24). O tempo era representando como sendo o deus Cronos e simbolizava uma força que dava origem e também destruía tudo o que gerou.

[5] Do grego Theos (Deus) e gonia (origem) ou também conhecida como Genealogia dos Deuses, refere-se a gêneses dos deuses e a origem do mundo.

Existem várias ramificações de cada mito, apresentei dois modelos para a criação do Universo que tem contextos diferentes. No primeiro notemos que o Universo é o que está a nossa volta, o que observamos. Já o segundo vai um pouco mais além descrevendo um Caos que cerca toda a Terra (ou Universo imaginado na época).

Mito Babilônico (3): O povo Babilônico viveu na Mesopotâmia e contou com excelentes astrônomos, que construíram tabelas sobre os movimentos dos planetas e da Lua, podendo até prever eclipses. Uma dessas tabelas Ammzaduga cobria o nascimento e o ocaso do planeta Vênus por um período de mais de vinte anos. Apesar de compreenderem o movimento dos astros, nunca tentaram responder o que causaria esses movimentos, pois deuses ou as explicações míticas já respondiam essas questões. Para a criação temos o mais antigo mito conhecido, proposto cerca de 2000 a. C.

> Quando no alto o céu [Anshar] ainda não tinha sido nomeado e em baixo a terra [kishar] ainda não tinha nome, nada existia senão uma mistura das águas de Apsu, o oceano primordial, o gerador, e da tumultuosa Mummu-Tiamat, a água doce, a mãe de todos. Então as trevas eram profundas, um tufão movia-se sem repouso. Então nenhum deus havia sido criado. Nenhum nome havia sido nomeado, nenhum destino havia sido fixado. (Enuma elish, apud MARTINS, 2012, p.9)

Podemos perceber que antes do surgimento dos deuses já havia alguns elementos como a terra e a água, mas nada se diz sobre como surgiu tais elementos. Posteriormente os deuses foram surgindo e através deles tudo foi criado.

> No tempo em que Anu, Enlil e Éa, os grandes deuses, criaram o céu e a terra, eles quiseram tornar visíveis os signos, fixaram as estações e estabeleceram a posição dos astros, deram nomes às estrelas e lhes atribuíram as trajetórias. Desenharam, à sua própria imagem, as estrelas em constelações, mediram a duração do dia e da noite criaram o mês e o ano traçaram a rota da Lua e do Sol. Assim, eles tomaram suas decisões sobre o céu e a terra. [...] Eles confiaram aos grandes deuses a produção do dia e a renovação do mês, para as observações astrológicas dos homens. Viu-se então o Sol se levantar e os astros brilharem para sempre em pleno céu. (Enuma elish, apud MARTINS, 2012, p. 9-10)

O físico americano Richard Feynman (1918-1988) faz o seguinte comentário sobre as escolas babilônicas,

> Nas escolas babilônicas, o aluno manejava grande número de exemplos até captar a ideia geral. Ele devia conhecer muita geometria, muitas propriedades dos círculos, o teorema de Pitágoras, fórmulas para as áreas de cubos e triângulos; além disso, aprendia argumentos para passar de uma coisa a outra e usava tabelas numéricas para resolver equações complicadas. Tudo era preparado para que se calculassem coisas. (FEYNMAN, 2012, p. 51)

Percebemos ainda que apenas havia o interesse em saber calcular acontecimentos, por exemplo, qual a posição da Lua ao longo dos dias e dos meses, mas que não estavam interessados em saber o porquê a Lua estava se movimentando, visto que os deuses já explicavam isso. O Universo para eles era separado em seis níveis, três firmamentos e três terras (FIGURA 2). Acreditavam em uma Terra plana que flutuava sobre a água e era cercada por oceanos, de modo a parecer que vivíamos dentro de uma cúpula (ON, 2009). Podemos perceber que o Universo era finito, e seria eterno seguindo a ordem estabelecida pelos deuses.

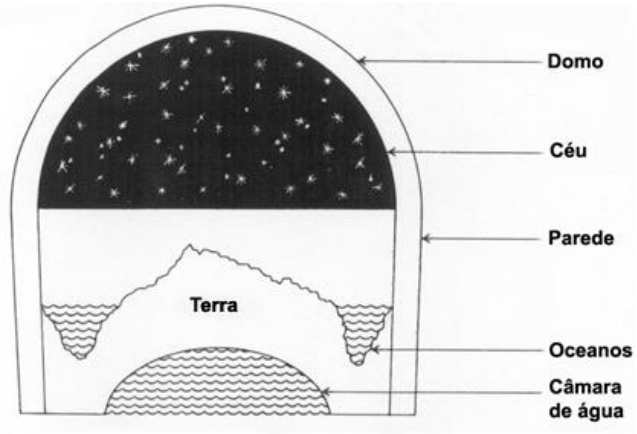

FIGURA 2: UNIVERSO BABILÔNICO
FONTE: ON (2009, p. 17)

Mito no Egito (4): Os Egípcios, ao contrário dos Babilônios, não tiveram interesse por Astronomia, mas sua explicação sobre o Universo seguiu o mesmo caminho de outras civilizações, tendo por base a criação por deuses. Na figura 3, vemos que a deusa Nut representa o céu e as estrelas, tendo seu corpo suspenso por Shu o deus do ar e deitado ao chão o deus da terra Geb. Nesse modelo imaginava-se que o universo era cíclico e eterno, o deus Ra simbolizado como sendo o Sol e percorre o corpo da deusa Nut (céu). Neste mito quando Ra entra na boca de Nut e sai pelo “canal de nascimento”,

corresponderia respectivamente ao equinócio da primavera e ao solstício de inverno no hemisfério norte (ON, 2009, p. 18). Percebemos assim a explicação desses fenômenos a partir da interação dos deuses, e havia outra deusa chamada Nun, ela representava um oceano infinito que continha os elementos básicos para a vida e que através dela toda a vida surgiu.

FIGURA 3 – UNIVERSO EGÍPCIO
FONTE: ON (2009, p. 18)

Mito na Índia (5): No Código de Manu[6] o Universo é descrito como sendo um deus chamado Brahman, "*Quando este deus desperta, então o mundo se coloca em movimento. Quando adormece pacificamente, então tudo se dissolve.*" (Código de Manu, apud MARTINS, 2009, p. 31). Para essa crença temos dois aspectos interessantes, o primeiro é a consideração de o Universo ser cíclico, ou seja, não existe um começo especifico no tempo, ele sempre está sendo criado e destruído e essa duração de criação e destruição tem um tempo de 8,76 bilhões de anos. Esse ciclo representa o tempo que Brahman fica acordado e adormecido. O segundo aspecto notável é o tempo de duração do Universo, nenhuma outra civilização propôs um Universo com uma idade tão alta (Ibid, p. 32).

Além desse pensamento de criação, outra ideia intrigante é com relação aos constituintes do Universo, onde classificaram nove classes de substâncias. Três contínuas, o éter (parece não ter relação com o éter grego), o espaço e o tempo, no qual o tempo tem uma semelhança com o tempo da

[6] O Código de Manu é uma coleção de livros bramânicos (livros religiosos) que apresenta doutrinas, práticas religiosas, regras morais para a vida social e também a origem do Universo.

relatividade restrita, pois podemos perceber que o tempo não precisa fluir na mesma taxa para referenciais diferentes (cada período de dia e noite para o deus Brahman equivale a 4 bilhões e 380 milhões de anos para os humanos). As outras substâncias elementares eram representadas como sendo, a terra, a água, o ar e o fogo, e posteriormente perceberemos que a consideração de tais elementos se repete no pensamento grego (ON, 2009, p. 20).

Mito na China (6): Temos o surgimento do Universo através de um caos primordial e desse caos um ovo cósmico foi chocado durante 18 mil anos. O Céu, a Terra e P'na Ku coexistiram em um estado de unidade dentro deste ovo, com o seu rompimento P'na Ku com um golpe de machado separa o Yin do Yang, em que um torna-se a Terra e o outro o Céu. O aperfeiçoamento do Universo teria se dado através da morte de P'an Ku, quando morreu seus olhos se tornaram o Sol e a Lua, sua respiração se tornou o vento e sua voz o trovão, dos ossos surgiu as pedras, do seu sangue os rios e oceanos, do seu cabelo a vegetação, a sua pele se tornou a terra, seu crânio virou a abobada do firmamento, sua saliva e suor tornaram-se a chuva e a humanidade surgiu através dos vermes que cobriam seu corpo (GLEISER, 2006, p. 30).

Mito dos Índios Hopi (Estados Unidos) (7): Nesse mito existem dois deuses, Taiowa (criador) e Tokpela (representando o espaço infinito). Tudo começou a surgir após a intervenção de Taiowa, antes disso não havia um início ou um fim do Universo, nem mesmo o tempo existia. Taiowa com seu poder infinito teria criado então o finito e posteriormente criou Sotuknang com o papel de dar formas ao Universo, criando mundos. Percebemos que aparentemente o Universo sempre existiu e era infinito, mas para o tempo fluir era necessário que Taiowa ordenasse e dessa ordem se teve o início (Ibid, p. 23).

Mito dos Marind-anim (Oceania - Nova guiné) (8): Para a origem do cosmo e da vida foram dadas as seguintes explicações:

> - origem do cosmo em sentido evolutivo-sexual, como resultado da união entre o céu e terra (hierogamia),
> - papel secundário das divindades na criação, pois aparecem com o desenvolvimento evolutivo do cosmo,
> - o aparecimento da vida, das plantas úteis, dos bens culturais, está ligado a um drama primordial e cósmico, que envolve a morte de uma entidade-dema (espécie de herói mítico, cuja natureza oscila entre a do homem e a do animal), dando inicio ao tempo histórico atual,
> - homens e animais têm uma origem comum, o que os coloca no mesmo nível natural. (PIAZZA, 2005, p.50)

Temos novamente a origem do Universo a partir do céu e da terra, algo como um processo natural visto que não há nenhuma intervenção divina, aparentemente o tempo só surgiu quando a entidade-dema morreu dando origem a vida e percebe-se ainda que os deuses tinham papeis secundários, não sendo os criadores do cosmo, mas apenas o evoluíam.

Mito Maia (sul do México, nas Honduras e Yucatan) (9): Tentavam compreender os astros, mas diferentemente dos babilônios, não desenvolveram nenhuma ciência considerando suas observações, pois tudo era regido por deuses. Criaram dois calendários, um solar e outro com relação aos rituais, tanto de sacrifícios como de festas. O calendário Maia tem um profundo significado conforme Piazza relata,

> O tempo para os Mayas se deu através do "mês" que para eles é considerado como uma entidade viva, que começa "a caminhar por si mesmo", quando o mundo ainda não se tinha "acordado". O "mês" criou o dia, o céu e a terra, mais gradualmente as águas, a terra, as pedras, as árvores, as coisas do mar e as coisas da terra. A criação abrange um período de vinte dias onde nada falta, desde a criação da luz, o inferno, o mal e a morte... Quando o Sol surgiu no espaço, chamou os dias e eles acorreram em ordem... Estava fundado o calendário Maya. (PIAZZA, 2005, p. 209)

Em nenhuma outra crença ou mito observado nesse trabalho teve o tempo sendo relatado como uma entidade viva que por si só deu ordem para que tudo fluísse. Para o surgimento do Universo temos um Ser Supremo que é caracterizado como "ocioso", não interferindo em nada, mas para as explicações dos fenômenos naturais e das características do ser humano (bom senso, justiça, etc) estão todas relacionadas com deuses menores.

Mito na Austrália (10): Com as tribos antigas da Austrália temos a religião chamada totemismo. Para eles o Universo não teve um início "*[...já que tudo existiu sempre, desde o principio 'nascidos de sua própria eternidade'...][...houve um momento em que os antepassados totêmicos se dissolveram no 'sonho eterno', dando inicio ao tempo presente*" (Ibid, p. 56). Percebemos então a crença em um Universo eterno que não teve um começo, mas que a partir do despertar dos antepassados totêmicos, chamados também de antepassados míticos, o tempo teria se originado. Novamente temos um Universo que sempre existiu e o tempo surgiu devido a um determinado evento. O surgimento do homem se deu através de intervenção divina,

"*acreditavam que os primeiros homens tinham começado a existir na forma de embriões inexpressivos, elevando-se depois à condição humana por obra dos antepassados míticos*" (Ibid, p. 58).

Mito Asteca (habitaram a região do México) (11): Temos a criação a partir de um Ser Supremo, que conteria em si a dualidade, ou seja, a representação do masculino e do feminino, respectivamente chamados de Ometecuhtli e Omecihuatl, e a partir dessa dualidade se deu a origem a todo o cosmo e aos deuses menores. Com relação ao surgimento do tempo, do Sol e da Lua tem-se uma maneira bem diferente se comparada aos outros mitos relatados.

> Esses deuses estavam encarregados de criar o mundo, mas viram-se em dificuldades para criar o "movimento" (o tempo), que era o essencial para a existência das coisas. Isto só era possível se um dos deuses se sacrificasse, o que equivalia a dizer que o movimento é algo divino. (PIAZZA, 2005, p. 200)

Para que surgisse o tempo os deuses menores foram se sacrificando em uma fogueira, os dois primeiros ao se sacrificarem deram origem ao Sol e a Lua, e para o surgimento do tempo todos os deuses tiveram que se sacrificar e em consequência disso o Sol e a Lua começaram a se mover.

Mito Inca (desde o sul da Colômbia até o norte do Chile) (12):

> Eis como um autor peruano da atualidade resume o sistema religioso peruano: "Os elementos analisados correspondem aos de um povo agrícola, que desde idades remotas venerou os deuses da fertilidade, e divinizou as forças cósmicas. Os deuses atuam em dois planos: no celeste e no terrestre. Os primeiros apresentam-se no espaço sideral sob a grande arcada do céu, rodeado de raios luminosos e vinculados aos seres mais importantes do universo, a animais que personificam determinados fenômenos naturais ou que os auxiliam em suas funções divinas (macacos, condores, serpentes, jaguares). São entes divinos que atuam no céu ou que governam os fenômenos meteorológicos. Incluem-se neste grupo as representações do Ser Supremo, do Deus da Tempestade, do Deus Solar, da Deusa Lunar, e do par gerador primordial (raio, chuva, etc...)" (PIAZZA, 2005, p.214-215)

Temos a separação do Universo em duas regiões, a primeira sendo a celeste ocupada pelos deuses onde tudo se vincula a ordem. A segunda chamada de terrestre ocupada pelos humanos, ocasionalmente algum deus interferiria como uma força da natureza. Acreditavam que a existência de tudo

consistia na dualidade, como para a ordem da vida que era vinculado ao macho e a fêmea, esses representavam também o céu e a terra respectivamente.

Mito Africano (13): Existem várias tribos cada um com seu costume, mas a criação do Universo na maioria das vezes se dá através de um Ser Supremo. Irei citar duas tribos,

> Os Pigmeus, [...], têm uma noção de Ser Supremo que muito se assemelha ao monoteísmo bíblico, pois o consideram criador do mundo e do homem, pai providente e supremo remunerador.
> Os Bantus [...] No Congo e na Tanzânia... O Ser Supremo é criador de todas as coisas, vive no céu e é invocado para mandar a chuva, mas também se manifesta no trovão e no raio. Dão-lhe igualmente o título de “mãe de todos os animais”. (PIAZZA, 2005, p. 61)

Outros povos fazem menção ao monoteísmo e ao politeísmo, citei apenas esses dois para termos uma ideia da crença das tribos dessa região. Notemos que para essas duas tribos a existência do cosmo se faz necessária a existência de um Ser Supremo, sendo assim podemos considerar que o Universo teve um começo.

Mito da Tanzânia (14): Segundo essa crença existia no princípio do Universo o ar, o céu, uma árvore com formigas vivendo nela e um Ser que com suas palavras fazia tudo se realizar. A Terra teria surgido a partir dos excrementos das formigas que acabou englobando a árvore, o Ser com suas palavras mandou vento e água para Terra, as formigas acabaram morrendo em uma inundação, mas a árvore continuou crescendo e suas raízes deram origem às plantas na Terra. Posteriormente surgiu a atmosfera e a criação dos homens e animais que travaram uma grande guerra por alimentos. Devido essa guerra, partes da Terra se separaram dando origem as estrelas, a Lua e ao Sol. Acreditavam que as estrelas e a Lua eram discos que refletiam a luz do Sol (HAWLEY; HOLCOMB, 2005, p. 8). Nada é dito sobre como surgiu o que havia no principio do Universo, o que nos leva a supor que ele sempre existiu e com o decorrer de alguns fenômenos tudo foi mudando e dando origem ao que vemos.

Mito Tupi-Guarani (15): Os Tupis-Guaranis têm uma grande dispersão por todo o Brasil e também no Paraguai, e devido a essa grande gama de etnias cada grupo tinha um ideal sobre a criação do Universo, sendo difícil citar

qual era a principal ou a verdadeira raiz do pensamento dos Tupis-guaranis. Mas dentre todos sempre se tem um Ser Supremo que dá origem a tudo. Irei citar duas tribos e uma breve história sobre seus mitos, a primeira sendo os Apapocuva que se originaram no Mato Grosso e o segundo sendo os Tupinambás na Bahia.

> --Nyanderuvusu, “nosso pai grande”, criou o mundo e a primeira mulher, Nyandesy ‘nossa mãe’, que concebeu dois gêmeos, mas foi devorada por uma onça, que respeitou as duas crianças, Nanderykey e Tyvyry, identificados com o sol e a lua.
> --Monan um Ser Supremo que criou o céu, a terra, os pássaros, os animais. Mas os homens mostraram-se maus e, por isso, Monan eviou Tatá-manha = Mãe-Fogo que consumiu tudo. Só se salvou Irin-Magé, que Monan tinha levado ao céu, e que se tornou o “herói civilizador” da nova geração de homens. (PIAZZA, 2005, p 38)

Existem muito mais mitos por todo o mundo, mas os que foram apresentados aqui são um exemplo de como os povos antigos explicavam o surgimento do Universo. Simplificando, alguns descrevem o surgimento a partir de um Caos primordial, outros associam a origem devido a um elemento primordial (esse algumas vezes sendo a água), e temos vários que relataram ser um Ser Supremo que deu origem a tudo. Novamente o que apresentei aqui relata muito pouco o que cada mito diz sobre o Universo e muitos exigem estudos mais aprofundados.

Muitos povos, se não todos, apresentavam explicações a partir do que observavam à sua volta e hoje podemos dizer que tentamos explicar da mesma forma, mas com o uso da tecnologia e do método cientifico. De modo que com os dados observacionais propomos teorias para explicar o Universo. Essa ideia das explicações partirem das observações teve um grande destaque na antiga Grécia. Veremos a seguir que a ideia de explicar o Universo a partir de deuses é substituída pela observação e pela lógica.

3 OS PENSADORES GREGOS

Até agora vimos como as civilizações antigas explicavam a origem do Universo e da vida. Muitas dessas explicações eram voltadas para deuses, ou um Caos primordial ou ainda por algum elemento primordial. Mas algumas civilizações desenvolveram determinados progressos em ciência como os babilônios e os egípcios. Os primeiros com suas observações dos corpos celestes e previsões dos eclipses e os segundos com o seu calendário entre outras descobertas realizadas. Desta maneira, aos poucos foi se tendo um florescimento do pensamento científico.

3.1 FLORESCE UM NOVO PENSAMENTO

A partir do século XI antes de Cristo começou a surgir um pensamento crítico, mais racional não tendo apenas explicações baseadas em deuses, mas sim de forma natural com explicações baseadas na natureza e na lógica. Esses pensamentos inicialmente florescem na antiga Grécia. A seguir vamos então compreender como os principais pensadores dessa época imaginavam o Universo. Não iremos nos aprofundar no pensamento de cada um, pois o objetivo é entender suas ideias a respeito do cosmo. Vamos relatar da seguinte maneira, começando por explicar as principais escolas e o que cada uma tinha como objetivo e posteriormente em ordem cronológica (apesar de terem datas com algumas incertezas) descrever o pensamento de cada filósofo.

Geralmente são lembradas quatro grandes escolas da época, a Jônica, a Eleática, a Itálica (Pitagórica) e a Pluralista/Atomista. Cada uma com sua forma de pensar, onde geralmente os discípulos iam contra as ideias de seus mestres, o que poderia ocasionar em um debate de modo a confrontar as ideias e assim se ter a explicação mais lógica para o determinado fenômeno, mas, ao mesmo tempo, buscavam sempre seguir a ideia principal da escola. A seguir vamos compreender o conceito principal que cada escola defendia.

Escola Jônica (Jô): "*A natureza pode ser reduzida a um único princípio material*" (GLEISER, 2006, p 56), ou seja, buscavam um elemento primordial

que dava origem e transformações a todo o cosmo, temos assim um espírito de reducionismo tentando explicar os fenômenos com o mínimo de argumentos possíveis. Todos os pensadores que irei citar dessa escola tentaram explicar os fenômenos e a criação do Universo a partir de um único elemento. "*Foram os primeiros pensadores de que temos conhecimento a afirmar sistematicamente que são as leis e as forças da Natureza, e não os deuses, os responsáveis pela ordem e até pela existência do mundo.*" (SAGAN, 2006, p. 351)

Escola Pluralista (Pl): Diferente dos Jônicos, os Pluralistas acreditavam que não se explicava o Universo a partir de um único princípio (ou elemento), mas sim de vários (a escola atomista faz parte da pluralista).

Escola Eleática (El): Não acreditavam nas transformações e que não poderíamos acreditar nos nossos sentidos, pois tinham a ideia que os sentidos nos mostravam uma ilusão e não a natureza real dos fenômenos. Para eles o perfeito era estático, ou seja, se é perfeito por que razão deveria ocorrer alguma transformação?

Escola Itálica (Pitagóricos) (It): Tinham uma grande admiração pelos números, misturavam a matemática com o misticismo. Acreditavam principalmente em uma relação entre a matemática, a música e o Universo, e que através da matemática poderíamos compreender a natureza.

Escola Atomista (At): As ideias parecem uma mistura dos pensamentos Eleático e Jônico. Para eles tudo era feito de corpúsculos infinitamente pequenos que chamaram de átomos, sendo imutáveis, indivisíveis, não eram criados e nem destruídos, assim a essência no mundo infinitamente pequeno não havia mutação, mas tudo que ocorria a nossa volta tinha sua origem no movimento dos átomos e suas diversas formas. Os atomistas viam na ciência uma forma de se ter outras explicações para os fenômenos no qual poderíamos abandonar as ideias místicas e superstições que as pessoas acreditavam.

Sabendo então o pensamento de cada escola, vamos agora entender o pensamento dos principais filósofos e como eles entendiam o Universo. A cada filosofo atribui-se o período provável em que viveu e o nome da escola abreviada.

Tales de Mileto (624-545 a.C.) (Jô): Tales acreditava que o Universo como um todo era um organismo vivo. Concluindo que o elemento básico era a água (pois todo ser vivo dependia essencialmente de água para viver) e que tudo que existia se deu por transformações dela. Algumas transformações, como o fato de existir fogo não conseguia explicar, pois como a água poderia se transformar em fogo? (ON, 2009, p. 31). O universo que Tales propôs era como se estivesse cercado de água e que a Terra flutuava nela (FIGURA 4). Fazendo uma analogia como feita por Horvath [et al.] (2011, p 212) "*Sendo a água composta por dois átomos de Hidrogênio e um de Oxigênio e a composição básica do Universo ser predominante de Hidrogênio, Tales não estaria tão errado assim*", apenas uma analogia que podemos fazer com os vários filósofos que iremos discutir aqui, pois muitas das ideias são um tanto parecidas com as que temos hoje (como vista na mitologia indiana com relação a relatividade).

FIGURA 4 – UNIVERSO DE TALES
FONTE: TEMPLO DE APOLO

Anaximandro (610-547 a.C.) (Jô): "*No nascimento desse mundo uma semente de quente e frio se separou do ilimitado e a partir disso uma bola de fogo girou no ar em torno da Terra, como a casca de uma árvore*" (ON, 2009, p. 31). Anaximandro foi discípulo de Tales, propôs um elemento chamado apeíron que tinha propriedades como ser ilimitado, indeterminado, não podia ser gerado e nem destruído sendo assim eterno. Esse elemento possuía os opostos juntos como, por exemplo, o frio e o calor, seco e úmido, claro e escuro, que por alguma razão se separaram dando origem ao Universo.

Anaximandro concluiu (de alguma maneira) que a Terra tinha um formato cilíndrico com o raio quatro vezes maior que a altura e que a localização dela era exatamente no centro do Universo, e assim por consequência, a Terra não teria necessidade de se mover e nem de algum apoio. Ela surgiu a partir do momento em que o quente e o frio surgiram, a parte fria se tornou a Terra e a parte quente se tornou uma esfera de fogo englobando a Terra (FIGURA 5). Para explicar o Sol, as estrelas e a Lua, ele pensou que o Universo estaria imerso em um fogo e que na borda existiriam buracos nos quais esse fogo entraria e assim dando origem ao Sol, estrelas e a Lua (MARTINS, 2012, p. 43).

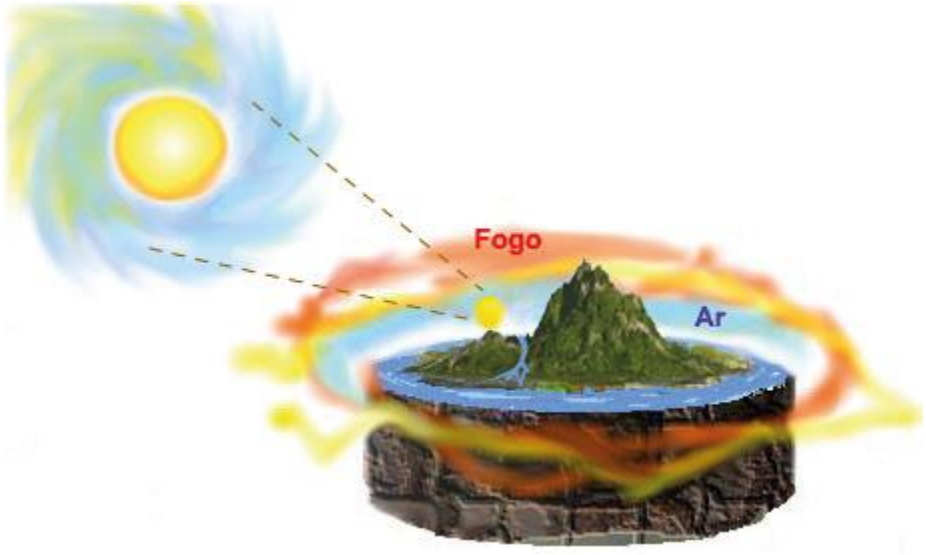

FIGURA 5 – UNIVERSO DE ANAXIMANDRO
FONTE: ON (2015, p. 32)

Anaxímenes (585-525 a.C.) (Jô): Propondo também um elemento básico/primordial chegou a conclusão que este seria o ar. As transformações se davam através da “condensação e rarefação”, o ar mais rarefeito se tornaria o fogo, se condensarmos o ar se transformaria na água e condensando novamente teríamos a terra. Com relação ao Universo, todos os corpos celestes eram planos, inclusive a Terra e todos estavam flutuando devido à existência de um ar infinito. Mas a ideia principal que vai se repetir para vários pensadores posteriores foi sobre Anaxímenes ter proposto que os corpos celestes estavam presos a esferas cristalinas e cada um tinha sua própria esfera de modo a orbitarem em torno da Terra. “*Era uma vez um tempo em que*

as melhores cabeças da espécie humana acreditavam que os planetas estavam ligados a esferas de cristal, o que explicava seu movimento, tanto em termos diários como em períodos mais longos." (SAGAN, 2008, p. 83), veremos que as explicações durante um bom tempo serão baseadas nas existências dessas esferas cristalinas.

Pitágoras (582-496 a.C.) (It): Como vimos os pitagóricos queriam associar a matemática com as explicações dos fenômenos naturais, o argumento para isso era "*se todas as coisas possuem forma, e formas podem ser descritas por números, então os números se tornam a essência do conhecimento, a porta para um nível superior de sabedoria.*" (GLEISER, 2006, p. 51), a matemática então criava uma ponte entre a razão humana e a mente divina. Com a descoberta da razão harmônica feita por Pitágoras e o grande apreço por alguns números (que definiam como sendo o número um representado pelo ponto, o dois por uma reta, o três sendo uma superfície e o quatro um sólido, e somando todos temos o número dez que para os pitagóricos era um número sagrado) o fez propor um Universo ordenado seguindo a razão harmônica (ou harmonia musical), ou seja, a distância entre cada corpo celeste e a Terra era proporcional a essa lei harmônica. Propôs também que a Terra tem o formato esférico devido à esfera ser a forma mais perfeita que existe, aparentemente foi o primeiro a sugerir essa ideia.

Xenófanes (~570 a.C.) (El): Ele criticou o pensamento mítico,

> Os mortais consideram que os deuses tiveram nascimento, e que possuem roupas e vozes e corpos como os seus.
> Os Etíopes [africanos] dizem que seus deuses possuem narizes achatados e que são negros; e os Trácios que os seus possuem olhos azuis e cabelo vermelho.
> Se os bois, cavalos e leões tivessem mãos e pudessem pintar e produzir obras que os homens realizam, os cavalos pintariam figuras de deuses semelhantes a cavalos, os bois semelhantes a bois, e lhes atribuiriam os corpos que eles próprios têm. (Xenófanes, apud MARTINS, 2012, p. 35)

Para ele havia um deus que não se parecia nenhum pouco com a forma que pensávamos. Acreditava que o cosmo como um todo era deus e que a origem de tudo se dava a partir da terra e da água.

Heráclito (543-475 a.C.) (Jô): Para ele tudo se transforma, tudo estaria em mudança e nada permanecia parado, considerando o fogo como o

elemento primordial (pois estava em constante movimento), e todas as transformações ocorriam devido ao fogo iniciar os processos. Heráclito propôs que a terra surge através da compressão do fogo e quando essa terra for se dilatando os outros elementos irão surgindo como a água e o ar (segue um pouco a ideia de Anaxímenes). Com relação ao Sol, as estrelas e a Lua, explicava como sendo fogo aprisionado e a Lua seria menos brilhante porque estaria mais próximo da Terra passando por um ar menos puro. Acreditava que o Sol se recriava todo dia e que o Universo era eterno (ON, 2009, p 32).

Parmênides (510-440 a.C.) (El): Não acreditava na mudança, pois as transformações eram simplesmente uma ilusão de nossos sentidos, acreditava em uma entidade divina que permeava todo o Universo. Segundo ele existia dois princípios básicos, a luz e a noite e a partir disso se originou a natureza, o comportamento dos céus, da Terra, das estrelas, Lua e Sol (STANFORD).

Anaxágoras (500-428 a.C.) (Pl): Acreditava que a Terra era plana e estaria suspensa no Universo pelo ar, que uma mente divina controlava tudo e que o Universo sempre existiu. Após ele analisar um meteorito, concluiu que os corpos celestes eram constituídos do mesmo material que a Terra, pois supôs que esses meteoritos foram expelidos para longe devido à rotação da Terra feita pela mente divina e consequentemente a Lua, da mesma maneira, se separou da Terra, afirmando assim que a Lua era apenas um pedaço da Terra (ON, 2009, p. 32-33).

Empédocles (495-435 a.C.) (Pl): Afirmava a existência de quatro elementos primordiais, a água, a terra, o ar e o fogo. Mas esses elementos eram designados como sendo qualquer substância, ou seja, a água era denominada como sendo qualquer líquido, a terra sendo qualquer sólido, e o ar qualquer gás. E para explicar as transformações e os movimentos que ocorriam no Universo, sugeriu duas “forças”, que chamou de amor e discórdia. O amor atraindo e a discórdia repelindo, assim com os quatro elementos e as duas forças se formavam todas as substâncias que existiam.

Filolau (470-380 a.C.) (It): Foi o primeiro a propor um modelo em que tanto a Terra como o Sol não ocupavam o centro do Universo, mas sim um fogo central chamado “Héstia” o qual era responsável por toda a energia do Universo. A explicação para o fato de não vermos esse fogo era que a Terra estaria voltada sempre com o mesmo hemisfério para esse fogo e o lado

habitado estaria no outro hemisfério (FIGURA 6). Observe na figura que existem dez corpos celestes e que um destes corpos é chamado de contra-Terra, "*Aristóteles, com sarcasmo, escreveu que a única motivação de Filolau para incluir a contra-Terra foi fazer com que o número de objetos celestes chegasse a dez*" (GLEISER, 2006, p. 56). Percebemos que as ideias dos pitagóricos foram rigorosamente seguidas e que o cosmo como um todo deveria as obedecer. A harmonia musical permanece, onde as distâncias devem ser proporcionais à razão harmônica.

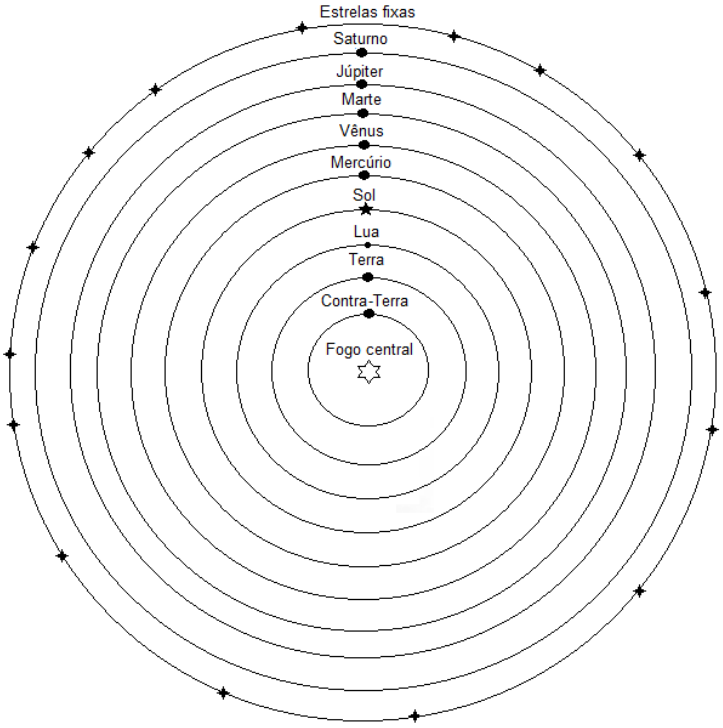

FIGURA 6 – UNIVERSO DE FILOLAU
FONTE: O Autor (2014)

Leucipo (~450 a.C.) (At) e Demócrito (460-370 a.C.) (At): Esses dois são os precursores da ideia e hipótese do átomo. Primeiramente Leucipo propôs o modelo de que o Universo era feito de elementos infinitamente pequenos, indivisíveis, imutáveis e eternos, chamados de átomos e que se moviam no vácuo (ou vazio). Demócrito elaborou as ideias sobre o átomo, acreditava que estariam em tudo que víamos e sentíamos. Todas as transformações que ocorriam eram pelo simples fato da existência de colisões entre esses átomos (que teriam uma infinidade de variedades de formas,

podendo ser esféricos, quadrados, com ganchos, etc.) até mesmo nossas emoções eram explicadas utilizando as ideias de átomos e colisões.

Para Demócrito o Universo, os planetas e as estrelas surgiram devido ao movimento caótico desses átomos, com as colisões eles foram se aglomerando e formando vórtices e consequentemente mais deles foram se aglomerando dando formas aos corpos celestes. Considerava o Universo como sendo infinito e que existiam infinitos átomos, desse modo vários planetas poderiam ser formados em todo o Universo, assim a Terra não era necessariamente o centro do cosmo ou que éramos os únicos.

Platão (427-347 a.C.): Acreditava que um deus (ou Demiurgo “criador”) deu a forma ao Universo, que antes disso estava em um caos primordial. Ele não teria criado os quatro elementos (água, ar, terra e fogo), mas sim em meio ao caos teria apenas os ordenado dando forma ao Universo. Teve uma forte influência dos pensamentos dos pitagóricos, pois segundo ele só se compreende o Demiurgo através do raciocínio, assim o que se vê no mundo sensorial (mundo real) era apenas o resultado da mente divina. Para descobrirmos a essência da natureza ou dos mecanismos dela, era necessário abandonar esse mundo sensorial e usar o raciocínio chamado por ele de mundo das ideias, que representava o verdadeiro mundo real (uma ideia bem parecida com a dos Eleátas). Com a ideia de Empédocles dos quatro elementos e as formas geométricas dos pitagóricos, criou uma relação entre eles, os chamados “Sólidos Platônicos” ou “Arquétipos Platônicos” (FIGURA 7).

A Terra e os corpos celestes eram considerados como sendo esferas perfeitas e a Terra estava situada no centro do Universo com os planetas e o Sol orbitando a Terra com movimentos circulares perfeitos e com velocidades angulares constantes. Acreditava tanto que os corpos celestes faziam órbitas circulares perfeitas que propôs uma questão no qual queria prever os movimentos dos planetas, mas com uma regra, apenas poderia utilizar órbitas circulares (pois para ele o círculo era a forma mais perfeita que existe). A partir daqui teremos a saga da busca às explicações para as órbitas dos planetas utilizando apenas círculos e tendo a base também as esferas cristalinas proposta por Anaxímenes (ON, 2009, p 37).

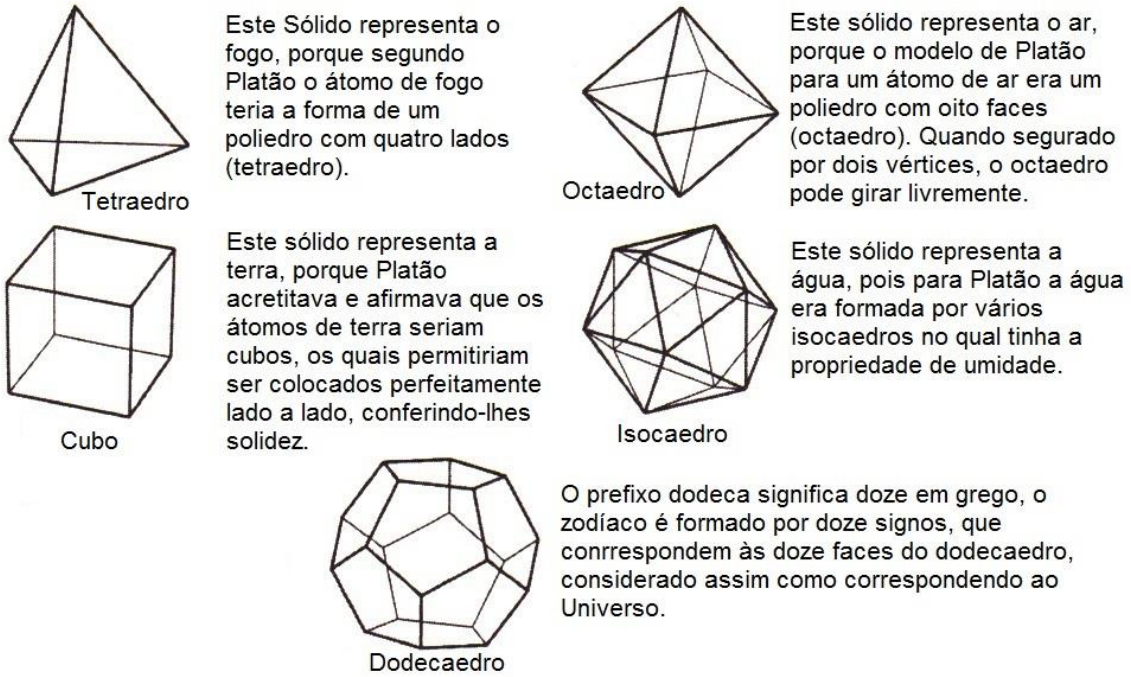

FIGURA 7 – SÓLIDOS PLATÔNICOS
FONTE: ON (2009) modificado pelo autor (2014)

Eudóxio (408-356 a.C.): Com a questão proposta por Platão, Eudóxio propôs um aumento no número de esferas cristalinas chegando a um total de 27 esferas, todas para representar os movimentos dos corpos celestes observados, conseguindo assim explicar o movimento retrogrado dos planetas.

Cálipo (370-300 a.C.): Discípulo de Eudóxio fez uma modificação no modelo das 27 esferas, adicionando mais 7, assim melhorou o modelo de seu mestre, descrevendo melhor como ocorria o movimento retrógrado chegando então a um total de 34 esferas cristalinas.

Heráclides (388-310 a.C.): Possivelmente pupilo de Platão, propôs duas novas ideias para o modelo do Universo, a primeira propondo que a Terra rotaciona em torno de seu próprio eixo, desse modo explicava a rotação diária dos céus. A segunda ideia foi que Mercúrio e Vênus não orbitavam a Terra, mas sim o Sol, visto que eram sempre observados próximos dele (FIGURA 8). Percebemos novamente uma quebra do pensamento geocêntrico (de que tudo orbita em torno da Terra), mas como essa ideia naquela época ia contra os principais pensadores (como Platão) que esse modelo acabou sendo desprezado.

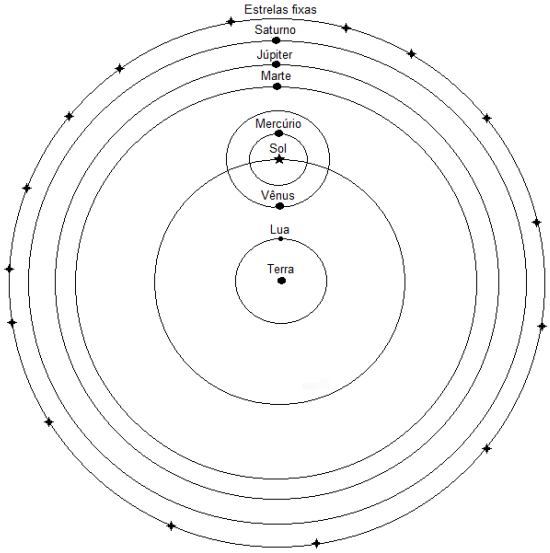

FIGURA 8 – UNIVERSO DE HERÁCLIDES
FONTE: O Autor (2014)

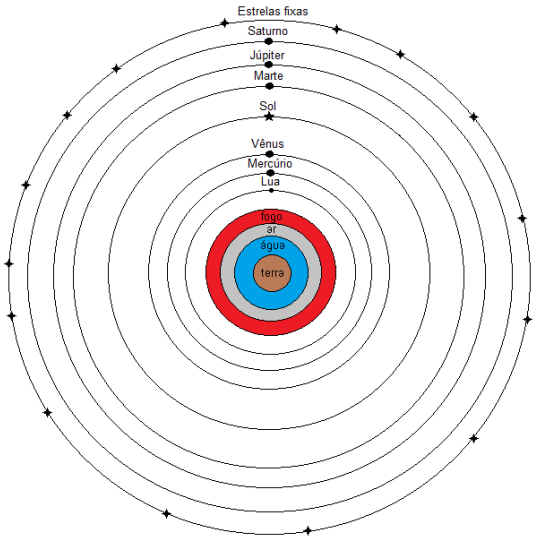

FIGURA 9 – UNIVERSO DE ARISTÓTELES
FONTE: O Autor (2014)

Aristóteles (384-322 a.C.): Discípulo de Platão propôs nada menos que 56 esferas cristalinas, considerava que essas esferas eram reais e que os movimentos dos corpos celestes eram causados pelo contato entre essas esferas. Mas diferente de seu mestre, Aristóteles não ignorava a experiência sensorial (mundo sensorial), pois ela também corresponde à realidade, apesar de não ser a perfeição do mundo das ideias de Platão, acabava representando o conhecimento do nosso mundo.

Dividiu o Universo em duas regiões, a primeira chamada sublunar onde estariam os famosos quatro elementos, água, terra, fogo e ar (que vimos algumas vezes). Os mesmos tinham um movimento natural que ele determinou como sendo lineares, propondo que cada elemento tinha seu lugar natural, ou seja, se soltarmos um pedaço de terra do alto, esse pedaço vai se mover linearmente até o seu lugar natural, que Aristóteles considerou como sendo o centro do Universo. A segunda região foi chamada de celeste, visto que os corpos celestes tinham órbitas circulares e não respeitavam o movimento linear, propôs então um novo elemento chamado éter no qual todos os corpos celestes eram formados. O movimento natural desse elemento era circular explicando assim as órbitas dos planetas e do sol em torno da terra, nessa região celeste não havia mudanças, ou seja, o éter era considerado imutável não podendo ser criado ou destruído e preenchia todo o cosmo, não havendo

espaço vazio (ou vácuo). Com essas duas regiões, podemos perceber as ideias dos Jônicos na região sublunar, tendo todas as transformações, e na região celeste temos as ideias dos Eleátas onde não havia mutação. O Universo como um todo era considerado por Aristóteles como sendo finito e eterno, não tendo um início ou fim (FIGURA 9).

Epicuro (341-270 a.C.) (At):

> "Em primeiro lugar, nada nasce do nada; pois [se isso fosse possível] qualquer coisa nasceria de qualquer coisa, sem nenhuma necessidade de sementes geradoras. E se aquilo que termina se acabasse no nada, tudo já teria sido destruído, pois não existiria aquilo em que tudo se dissolve" (Epicuro, apud MARTIS, 2012, p. 50)

Para ele o Universo e os átomos sempre existiram e são eternos, considerava que o espaço era infinito e ilimitado. Se átomos e Universo eram infinitos concluiu que existiam outros mundos, não necessariamente igual ao nosso, poderiam ter seres e plantas diferentes do que vemos em nosso mundo.

Aristarco (310-230 a.C.): Temos o primeiro modelo Heliocêntrico (Sol no centro do Universo), isso pode ter ocorrido devido ao fato dele ter estimado os valores dos tamanhos do Sol e da Lua. Com suas estimativas chegou a um Sol com um diâmetro cerca de sete vezes maior que o diâmetro da Terra, assim pelo fato do Sol ser maior, a Terra é que deveria orbitar o Sol e não o contrário. Seu modelo não foi aceito, pois ia contra o pensamento da época que concluíam pela experiência sensorial, que a Terra estava parada. Outro fator que ia contra esse modelo era o fato de não perceberem a paralaxe estelar[7], acreditavam que a esfera das estrelas fixas estava perto de modo que notaríamos caso a Terra orbitasse o Sol, mas Aristarco afirmava que as estrelas estariam tão distantes que não notaríamos tal fenômeno (HAWLEY; HOLCOMB, 2005, p. 34).

Apolônio (265-190 a.C.): Desenvolveu teorias sobre os movimentos chamados de epiciclos (FIGURA 10) e excêntricos que posteriormente foram utilizados para explicar o movimento retrógrado e a luminosidade aparente dos corpos celestes.

[7] Paralaxe estelar ocorre quando estrelas vizinhas parecem se deslocar se compararmos a objetos mais distantes que aparentam estar parados, conforme a Terra orbita o Sol. Uma analogia a esse fenômeno seria esticar o braço com o dedo indicador apontado para cima e olhar apenas com o olho direito e depois apenas com o esquerdo, desse modo ao compararmos com um ponto mais distante vai nos parecer que a ponta do dedo se deslocou.

Hiparco (190-120 a.C.): Fez algumas correções no modelo geocêntrico utilizando os movimentos descritos por Apolônio, mas agora envolvendo os planetas, a Lua e o Sol.

Cícero (106-43 a.C.): Era contra a ideia de que várias partes microscópicas pelo simples acaso pudessem reproduzir a ordem que era observada, ou seja, planetas orbitando de maneira harmônica, isso só seria possível com uma inteligência superior ordenando.

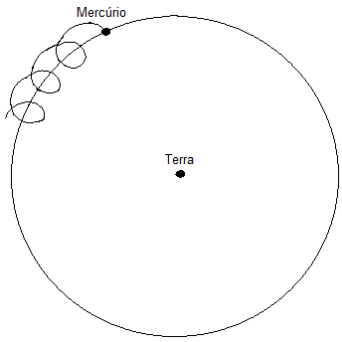

FIGURA 10 – EPICICLOS
FONTE: O Autor (2014)

Lucrécio (98-55 a.C.): Não concordava em pensar que a Terra era o centro do Universo e independente de onde estivéssemos nos pareceria que seria infinito da mesma forma, pois para ele, se o Universo fosse finito o que aconteceria quando alguém chegasse em sua borda e tentasse jogar algum objeto para fora? Se esse objeto passar significaria que existe uma continuação do Universo, mas se ele não conseguir prosseguir é porque existe algo além do Universo que está impedindo. Desse modo considerava então o Universo sendo infinito e ilimitado (MARTINS, 2012, p. 51-52). Acreditava nas ideias de Leucipo e Demócrito que tudo era constituído de átomos e suas várias combinações. Segundo Lucrécio compreender o Universo e seus mecanismos era a maneira de libertar o ser humano das crenças no sobrenatural e nas superstições.

Ptolomeu (87-150 d.C.): Com seu famoso livro “Almagesto” (palavra de origem árabe que significa “O grande tratado”) descreveu os movimentos dos planetas utilizando os epiciclos, deferente, excêntrico e equante, com todos esses movimentos provou que a Terra era fixa e com seu modelo conseguiu

boas previsões das posições futuras dos planetas, explicou que o dia e a noite eram consequências da rotação da esfera cristalina inteira e que todo o cosmo era ocupado por um material divino (FIGURA 11) (na figura 11 não está apresentada o equante).

Vimos que durante aproximadamente 700 anos tivemos um grande avanço nas concepções do Universo, muitos tentaram explicar com base no que observavam e alguns foram ousados e até mencionaram que a Terra se movimentava. Alguns conceitos dos mitos sobre a origem do Universo persistiram e em alguns casos eram similares, como as ideias dos filósofos gregos, por exemplo, Tales sugeriu um Universo parecido com o dos babilônios e que o principio de todo o Universo era a água (no mito da babilônia e no egípcio, consideravam que a água era o principio básico para a vida). Outro fato interessante foi os quatros elementos (água, ar, terra e fogo), esses elementos já haviam sido relatados no mito da Índia e se repetem com os filósofos gregos. Outras ideias como as esferas cristalinas de Anaxímenes, a perfeição do círculo (ou esfera) proposta por Pitágoras e a relação das órbitas serem circulares ganharam grande importância para responder a questão das órbitas dos planetas. Essas ideias junto com as observações definiram o ultimo modelo dos gregos proposto por Ptolomeu. Muito em ciência foi produzido, mas com a chegada das invasões bárbaras na Europa, muito dos textos produzidos foram destruídos e os que restaram levaram certo tempo até serem redescobertos.

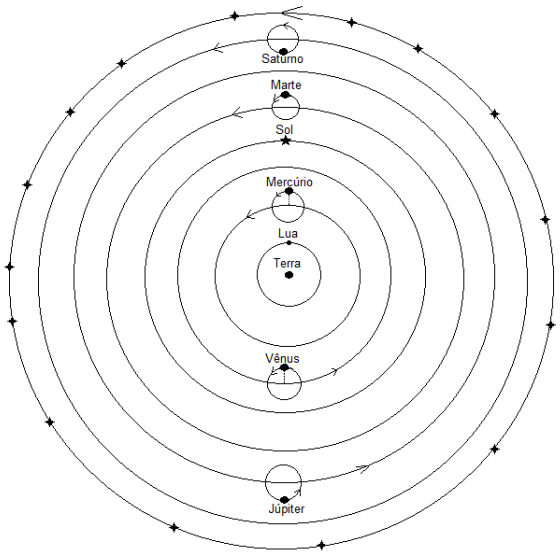

FIGURA 11 – UNIVERSO DE PTOLOMEU
FONTE: O Autor (2014)

4 A CIÊNCIA RETORNA AO PASSADO

Neste capítulo veremos os pensamentos em relação ao Universo no período da Idade Média. Constataremos que muito do que se evoluiu na ciência foi perdido. Alguns trabalhos como de Aristóteles e Ptolomeu são os que permanecem, ganham mais ênfase e sobrevivem como verdades absolutas. Em seguida veremos a queda do modelo de Ptolomeu e o novo modelo de Copérnico para o Universo, passaremos novamente pelos principais pensadores da época chegando até Isaac Newton com suas grandes descobertas.

4.1 A ESFERA TORNA-SE UM CÍRCULO PLANO

As invasões bárbaras que ocorreram em toda a Europa durante o século IV fizeram o pensamento científico declinar e a sociedade estava se tornando um caos, as crenças místicas estavam retornando e toda a ciência construída parece ter desaparecido e assim se inicia a Idade Média por volta do século V.

No ano de 324, Constantino em meio ao colapso do Império Romano converte-se ao cristianismo e assim Constantinopla se torna um importante centro cristão. Com o decorrer dos anos "*a igreja se transformou em um símbolo de civilização e ordem social, oferecendo a devoção à religião como antidoto contra os 'rituais pagãos dos bárbaros'* " (GLEISER, 2006, p. 89), o cristianismo se torna então a religião oficial de Roma.

Temos que a Bíblia passou a ser o centro de todo o conhecimento, o que estava escrito era a palavra de Deus a qual não poderíamos contestar. O Universo mudou drasticamente e o conhecimento obtido parece ter sido totalmente perdido ou simplesmente nunca ter existido,

> o firmamento não é esférico mas sim uma tenda retangular (um tabernáculo), porque temos em Isaías que "Deus estendeu os céus como uma cortina em forma de tenda". De modo semelhante a Terra era retangular ou circular como um disco, dependendo da parte da Bíblia consultada pelos teólogos. (GLEISER, 2006, p 88)

Temos que a ideia de alguns pensadores gregos da Terra esférica foi esquecida e uma nova forma de pensar surgiu, tornando ela plana e circundada por um abismo de água, algo bem parecido com o que vimos nas ideias dos babilônios (FIGURA 1). Percebemos que tal modelo já havia sido proposto, e supondo que esse modelo foi proposto em 1500 a. C., temos um grande retrocesso da ciência. "*A ciência se reduziu à teologia. Compreender a natureza consistia em interpretar a vontade de Deus mostrada na Bíblia*" (ON, 2009, p 51).

> Qual a importância de se saber se a Terra é uma esfera, um cilindro, um disco ou uma superfície côncava? O que é importante é saber como eu devo me conduzir na direção de mim mesmo, na direção dos membros da raça humana e na direção de Deus. (São Basílio de Cesareia, apud ON, 2009, p. 51)

Com as várias guerras que ocorreram no período do início da Idade Média a Igreja foi a esperança e a paz que o povo encontrou em meio ao caos, tal pensamento do Universo de que a Terra era plana permaneceu por aproximadamente 700 anos.

Os trabalhos de Ptolomeu e Aristóteles foram estudados e sobreviveram com os muçulmanos, árabes, judeus e nos monastérios onde apenas quem pertencia a esses monastérios poderia lê-los. A partir do século XII as universidades começaram a surgir e tinham como objetivo ensinar arte, teologia, lei e medicina. Havia disciplinas que eram conhecidas como trivium (gramática, lógica e retórica) e quadrivium (aritmética, geometria, astronomia e música), até o final do século XIII os livros mais populares em astronomia eram o "Almagesto" de Ptolomeu e o escrito por João de Sacrobosco (1225-1274), onde descreve o sistema de Ptolomeu no livro "Sobre a esfera", contendo várias figuras sobre o Universo (ON, 2009, p. 56-57).

Albertus Magnus (1193/1206-1280) acabou lendo e interpretando as ideias de Aristóteles (discordava sobre a música das esferas) e tentou conciliar tais ideias com a doutrina da Igreja católica, mas foi com seu aprendiz Thomas de Aquino (1225-1274) que foi capaz conciliar as ideias de Aristóteles com o cristianismo,

> a teologia cristã abraçou ideias aristotélicas, criando uma nova "cosmologia cristã". A terra voltou a ser esférica, ocupando seu trono no centro do Universo. E era circundada por oito esferas, que ligavam a Deus no exterior. A oitava esfera, a das estrelas fixas, era circundada por outra esfera, conhecida como Primum Mobile, a primeira esfera móvel. A décima e última esfera era imóvel, conhecida como a Esfera Empíria, "a morada de Deus e do intelecto". (GLEISER, 2006, p. 91)

Notemos que o número 10 considerado mágico (ou sagrado) pelos pitagóricos, retornou e não devemos esquecer que tal Universo era baseado nas ideias de Ptolomeu e Aristóteles.

Com Roger Bacon (1219-1292) temos a volta de um pensamento mais científico, pois acreditava que a experimentação junto com a matemática nos mostrava a natureza e desse modo poderíamos nos aproximar mais de Deus e de sua criação. Não gostava das ideias de Aristóteles e chegou a escrever suas injurias:

> se pudesse ditar a ordem das coisas, queimaria todos os livros de Aristóteles, pois seu estudo é uma grande perda de tempo, e só pode causar erro e aumentar nossa ignorância [...] Parem de ser dominados por dogmas e autoridade; olhem para o mundo. (Roger Bacon, apud GLEISER, 2006, p. 92).

Nicolas de Oresme (1323-1382) contestou a ideia de que a Terra era imóvel e que só poderíamos fazer tal afirmação se compararmos com mais dois corpos, ou seja, dependendo de como colocamos o referencial os corpos podem estar parados ou em movimento. Representou as esferas cristalinas de outra maneira, em vez de estarem centradas na Terra eram centradas em Deus (ON, 2009, p. 62).

Nicolau de Cusa (1401-1464) concluiu que nunca vamos chegar a compreensão da verdadeira sabedoria (ou nunca vamos alcançar a verdade), visto que a mente humana nunca vai entender a natureza infinita de Deus, apenas Ele possui a perfeição do infinito. Cusa propôs ideias sobre o Universo, que o levou posteriormente a ter problemas com a Igreja. Acreditava que a Terra orbitava o Sol e que todas as estrelas do céu são sóis como o nosso, com planetas orbitando tais sóis e possivelmente teriam vida, afirmou também que o espaço era infinito,

> Ele argumentou que, uma vez que foi Deus quem criou o Universo e Deus é infinito e sem localização, o próprio Universo também tinha quer ser não limitado e sem borda e centro. [...] afirmou que o Universo é uma esfera no qual o centro está em todos os lugares e a circunferência em lugar algum (ON, 2009, p. 62)

Petrus Apianus (1495-1552) em seu livro “A crônica de Nuremberg” mostra em forma de figuras a criação da Terra até próximo a época em que viviam. Em um trecho a Terra é considerada plana tendo nuvens a sua volta (nuvens circundando toda a Terra) e um vazio circundando a bolha esférica de nuvens (ON, 2009, p. 64).

Saindo um pouco da Europa, no Islã também havia vários pensadores com grandes ideias, um deles foi Ahmad al-Biruni (973-1048), concluiu que os dados das observações podiam ser descritos tanto como o Sol orbitando a Terra ou como a Terra orbitando o Sol, que essa diferença era apenas na dificuldade de representar as órbitas. Fez críticas aos trabalhos de Aristóteles, uma dessas críticas foi com relação ao movimento circular dos planetas que não precisavam ser necessariamente circulares. (Ibid, p. 67)

4.2 O VELHO NOVO MODELO

Nicolau Copérnico (1473-1543) estudou os modelos de Universo propostos pelos gregos, sendo que o modelo com o qual ele mais se identificou foi o de Aristarco (Terra orbitando o Sol). Tal busca por uma representação de Universo pode ter sido motivada pelos erros nas previsões dos planetas que o modelo de Ptolomeu apresentava. Percebeu que ao trocar a posição da Terra pelo do Sol algumas questões ficavam muito mais simples de explicar, como o movimento retrógrado dos planetas, desse modo abandonava os complicados epiciclos e tantos outros movimentos criados para a explicação do movimento dos corpos celestes. Esse novo modelo (heliocentrismo) acabava sendo muito mais simples que o de Ptolomeu (geocentrismo) e a velha questão de Platão retornava, que era descrever o movimento dos planetas com o menor número possível de órbitas circulares, sempre tentando minimizar os fenômenos.

Em 1530 publicou um esboço de suas ideias no “Commentariolus” (ou Pequeno comentário) propondo que o Sol é o centro do Universo e todos os

planetas orbitavam em volta dele e apenas a Lua orbitava a Terra que por sua vez estaria girando em torno de seu eixo (FIGURA 12). Copérnico ao propor esse novo modelo

> estava tentando mais uma vez “salvar os fenômenos”, fiel a regra de Platão. Ele estava olhando para trás e não para a frente [...] o sistema ptolomaico de equantes não era satisfatório porque viola a regra platônica de velocidade circular uniforme para todos os corpos celestes (GLEISER, 2006, p 98)

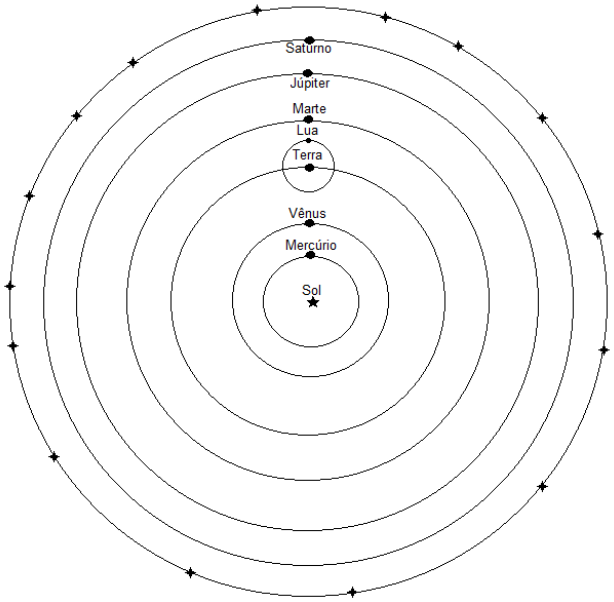

FIGURA 12 – UNIVERSO DE COPÉRNICO
FONTE: O AUTOR (2014)

Posteriormente em seu livro “Sobre as Revoluções das Esferas Celestes”, que foi publicado no ano de sua morte, tendo a primeira cópia recebida no leito de morte, descrevia todas suas ideias e conclusões sobre o novo modelo. Andreas Osiander sem o consentimento de Copérnico escreveu no prefácio em anônimo que todos os modelos propostos no texto eram meras hipóteses:

> o esquema copernicano não deveria ser tomado como representação da realidade, mas considerado apenas como uma maneira simples e útil para calcular as posições dos vários corpos celestes. Acredita-se que ele fez isso com a melhor das intenções, temendo que o livro pudesse causar alguma reação por parte da Igreja. Mas não há dúvidas de que Copérnico considerava seu sistema astronômico como uma representação verdadeira do funcionamento do cosmo. (PIRES, 2011, p. 87-88)

Para Copérnico 34 esferas cristalinas eram suficientes para explicar o Universo e os corpos celestes com suas órbitas, esse Universo heliocêntrico era finito e tal modelo plantou a semente da revolução que viria posteriormente. Esse modelo leva ao principio de Copérnico, que nos diz que não há nada de especial com o nosso lugar no Universo, não somos o centro e sim apenas mais um planeta em órbita do Sol (HAWLEY; HOLCOMB, 2005, p. 41).

Thomas Digges (1543-1595) acreditava no modelo de Copérnico, mas fez apenas uma alteração que foi a retirada da última esfera cristalina. Um Universo finito se tornou infinito com estrelas para muito além dos corpos celestes. (FIGURA 13).

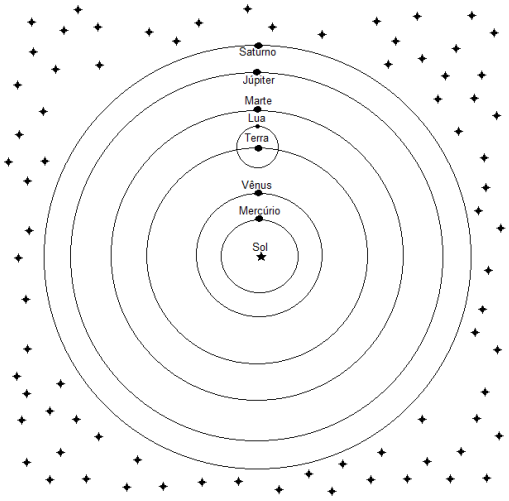

FIGURA 13 – UNIVERSO DE THOMAS DIGGES
FONTE: O Autor (2014)

> O orbe das estrelas fixas se estende esfericamente na altitude infinitamente para o alto e [é] por consequência imóvel. [...] o palácio da felicidade, adornado de inumeráveis luzeiros gloriosos, resplendendo perpetuamente e ultrapassada de longe em excelência nosso Sol, tanto em quantidade quanto em qualidade. [...] a corte do grande Deus, a habitação dos eleitos e dos anjos celestes (Thomas Digges, apud ON, 2009, p. 76)

Giordano Bruno (1548-1600) não aceitava as ideias de Aristóteles e Ptolomeu, acreditava em um Universo infinito e defendeu fielmente a teoria heliocêntrica, afirmou "*que movimento e mutação são sinais de perfeição e não ausência de perfeição. Um universo imutável seria um universo morto. Um universo vivo tem de ser capaz de se mover e de se modificar*" (ON, 2009, p. 77). Devido a várias outras ideias que expôs foi julgado pela Inquisição em 1600, sendo queimado na fogueira.

Tycho Brahe (1546-1601) foi o melhor astrônomo de sua época. Após dois eventos astronômicos, um deles em 1572 no qual observou uma nova estrela no céu que podia ser vista até mesmo durante o dia, chegando até a publicar um livro relatando essa observação “De Nova Stella”. O outro evento ocorreu em 1577, foi o aparecimento de um cometa e após algumas análises concluiu que este estaria bem mais distante que a Lua (Ibid, p 80). Com esses dois eventos chegou a conclusão que a imutabilidade do céu estava errada. Pois com a observação desse cometa, propôs que as esferas cristalinas não eram reais pelo fato do cometa estar passando pelas “órbitas dos planetas”. Tycho propôs um modelo bem diferente sendo uma mistura de geocentrismo com heliocentrismo, onde a Lua, o Sol e as estrelas fixas orbitavam a Terra, enquanto que todos os outros planetas orbitavam o Sol (FIGURA 14).

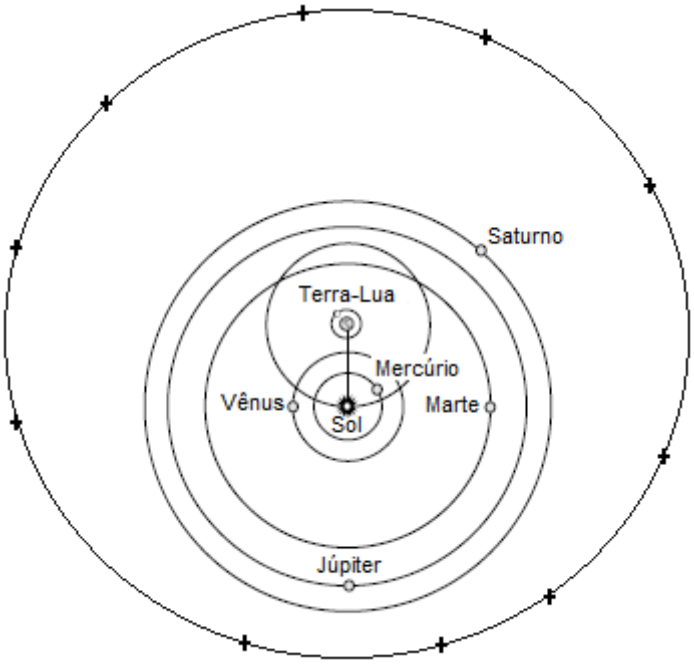

FIGURA 14 – UNIVERSO DE TYCHO BRAHE
FONTE: HAWLEY; HOLCOMB (2005, p. 45). Modificado pelo Autor (2015)

Johannes Kepler (1571-1630) confiava no modelo de Copérnico e algumas questões sobre o Universo estavam sempre em seus pensamentos, como por exemplo, por que se têm tais números de planetas? E não um número muito maior ou apenas um? (GLEISER, 2006, p 107). Um dia enquanto ministrava uma aula achou uma possível resposta, como dito por ele: “*Eu jamais poderei descrever com palavras a felicidade que me invadiu quando me*

deparei com minha descoberta" (Johannes Kepler, apud GLEISER, 2006, p. 107). Com o conhecimento dos sólidos platônicos propôs uma profunda relação do Universo com tais sólidos, o primeiro modelo que propôs foi uma alternância de sólido-esfera (FIGURA 15), onde cada esfera representava a órbita de um planeta e no centro se encontrava o Sol. Desse modo a quantidade de planetas conhecidos na época e o número de esferas coincidiam, posteriormente procurou descrever as distâncias até o Sol baseado na harmonia musical de Pitágoras, mas durante aproximadamente 20 anos "*procurou, sem sucesso, construir um modelo do Universo baseado nas harmonias musicais da escala pitagórica*" (PIRES, 2011, p. 100). O Universo de Kepler tinha forte ligação religiosa (ou místicas como a dos pitagóricos).

> Kepler acreditava que o cosmo era uma manifestação da Santíssima Trindade. Deus era representado pelo Sol no centro, o Filho, pela esfera das estrelas fixas, e o Espírito Santo, pelo poder que emana do Sol, responsável pelos movimentos celestes, permeando todo o Universo. Ele era a "alma motriz", o poder divino capaz de gerar movimento. (GLEISER, 2006, p.111)

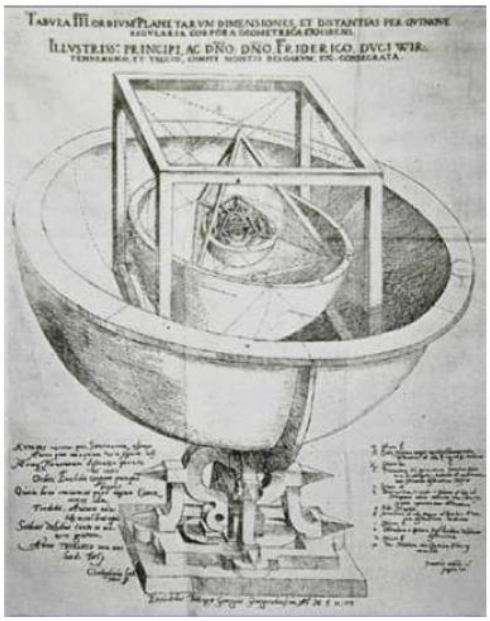

FIGURA 15 – PRIMEIRO MODELO DE KEPLER.
FONTE: ON (2009, p. 83)

Com o fracasso do seu primeiro modelo (entre tantos outros fatores que ocorreram em sua vida) decidiu aceitar o convite de Tycho Brahe para trabalhar em seu observatório.

Tycho e Kepler: Podemos dizer que Tycho era o melhor astrônomo na época e Kepler um dos melhores teóricos, os dois se encontraram em 1600. Kepler estava precisando de dados mais precisos para formular sua nova teoria sobre o Universo. "*Tycho não queria compartilhar seus dados com Kepler. Como ele, o astrônomo de reis, podia dar os frutos de toda uma vida de trabalho para esse desconhecido plebeu a seu lado?*" (GLEISER, 2006, p. 120). Após certo tempo trabalhando juntos, Tycho deu os dados da órbita de Marte para Kepler estudar, sendo esta a mais difícil, no qual Kepler após oito anos de estudos conseguiu precisão de 8 minutos de arco para previsão da posição do planeta Marte, utilizando a ideia do equante do modelo ptolomaico para o de Copérnico.

Em 1605 escreveu:

> a máquina celestial não deve ser comparada com um organismo vivo, mas sim com os mecanismos de um relógio [...], de tal modo que os vários movimentos celestiais são causados por uma simples força magnética, como no caso dos movimentos de um relógio, que são causados por um peso. (Kepler, apud GLEISER, 2006, p. 121)

Temos então que a ideia de alma foi substituída por uma força física, o magnetismo, e com essa ideia de força central que era emanada do Sol junto com as observações de Tycho, Kepler conseguiu chegar à lei que conhecemos hoje como "segunda lei de Kepler" (FIGURA 16):

"*O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais*" (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

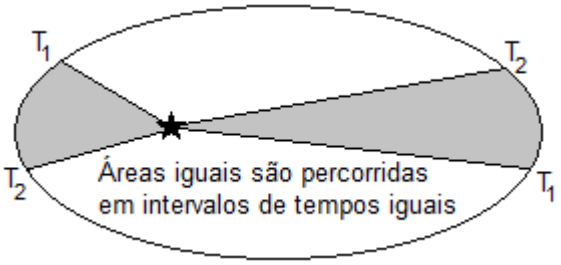

FIGURA 16 – SEGUNDA LEI DE KEPLER
FONTE: ON (2009, p. 84) Modificada pelo autor (2014)

Pensando nas órbitas dos planetas, após muitas tentativas chegou a um movimento elíptico (ou órbita elíptica) concluiu que todos os planetas executavam essa órbita e assim Marte que era o planeta mais difícil de

descrever se encaixou perfeitamente nesse movimento e surgiu a conhecida "primeira lei de Kepler", que nos diz: "*As órbitas descritas pelos planetas em redor do Sol são elipses, com o Sol num dos focos*" (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194)

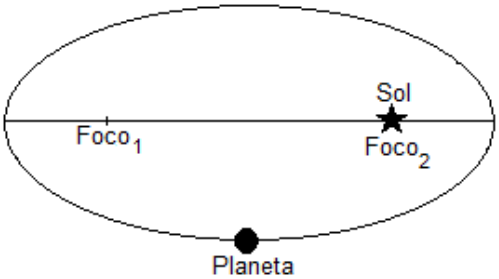

FIGURA 17 – PRIMEIRA LEI DE KEPLER
FONTE: NUSSENZVEIG (2002, p. 194)
Modificada pelo autor (2014)

Muito tempo depois da formulação dessas duas leis, Kepler se lembrava da harmonia musical dos pitagóricos e tentou encaixa-la de alguma forma em seu modelo.

> A chave para a harmonia celeste estava em estabelecer a razão entre os valores máximos e mínimos das velocidades orbitais [...] chegou a um acordo satisfatório [...] Saturno correspondia a uma terça maior, Júpiter a uma terça menor, Marte a uma quinta e etc. Ele finalmente desvendou a estrutura musical celestial ouvida por Pitágoras. (GLEISER, 2006, p. 125)

Após certo tempo concluiu que o período orbital do planeta e sua distância ao Sol teria uma relação e chegou na sua "terceira lei".

"*Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos de suas distâncias medias ao Sol*" (NUSSENZVEIG, 2002, p. 195)

$$(T_1/T_2)^2 = (R_1/R_2)^3 \ , \qquad (1)$$

onde T_1 e T_2 são os períodos de revolução de dois planetas (tempo para dar uma volta em torno do Sol), tendo órbitas com raios médios R_1 e R_2 respectivamente.

Herch Moyses Nussenzveig apresenta o que Kepler sentiu com sua descoberta,

> Kepler exultou com sua descoberta: “A 8 de março deste ano de 1618, ... a (solução) apareceu-me na cabeça. Mas eu estava sem sorte, e quando a testei pelo cálculo rejeitei-a como falsa. Afinal, a idéia voltou-me em 15 de maio, e em novo ataque conquistou a obscuridade da minha mente; concordava tão perfeitamente com os dados obtidos em meus dezessete anos de trabalho sobre as observações de Tycho que pensei primeiro estar sonhando...” (NUSSENZVEIG, 2005, p. 195)

Kepler com essas três leis conseguiu descrever o movimento dos planetas, o mecanismo do Universo (ou a comparação com o relógio) foi desvendada de modo que poderia explicar os movimentos dos corpos celestes.

Contemporâneo de Tycho e Kepler, Galileu Galilei (1564-1642) fez importantes descobertas. Após a invenção do telescópio, Galileu o aperfeiçoou. Apontando-o para o céu percebeu que em lugares que a olho nu não se via uma única estrela, com a utilização do telescópio podia-se observar várias. Ele contestou diversas ideias de Aristóteles, e advogava que a experimentação era necessária,

> Ao invés de acreditar cegamente nos ensinamentos de Aristóteles, Galileu propunha experimentos; “não acredite em autoridade, acredite na sua razão. Confronte sempre suas ideias com a realidade antes de determinar sua validade”. [...] acredite [...] que as relações matemáticas descrevendo um fenômeno são sempre as mais simples possíveis. (GLEISER, 2006, p. 134)

Com o telescópio fez várias observações que acabaram com o modelo do Universo Ptolomaico e com as ideias de Aristóteles. Quando observou a Lua percebeu que existiam várias deformações, parecendo ter vales e montanhas como na Terra e quando fez estudos com o Sol percebeu manchas solares, tais observações contestaram fortemente a ideia de Aristóteles sobre o céu (esfera celeste) ser imutável.

Outra descoberta foi a dos satélites de Júpiter, os registros de sua observação podem ser visto na figura 18. Contestando novamente o modelo de Universo geocêntrico, pois se os outros planetas podem ter satélites orbitando, a Terra poderia sem problema nenhum orbitar o Sol.

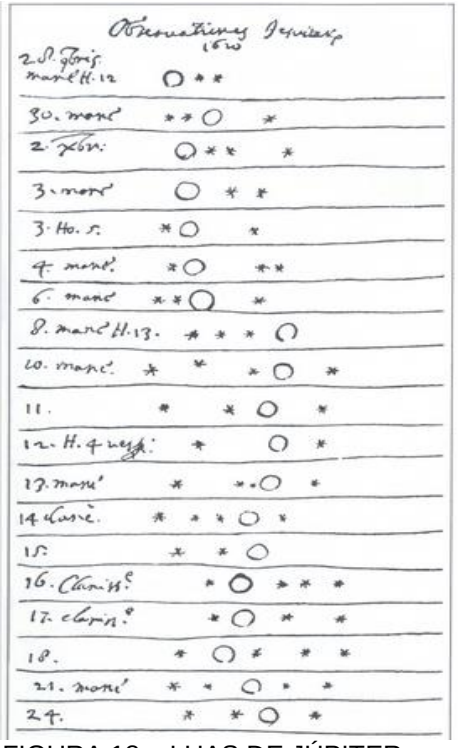

FIGURA 18 – LUAS DE JÚPITER
FONTE: ON (2009, p. 86)

Simon Marius (1570-1624) alegou ter visto esses satélites em 1605 antes de Galileu e posteriormente dando os nomes a eles e que usamos até hoje, sendo esses nomes conhecidos como, Io, Ganimedes, Callisto e Europa. Mas 2000 mil anos antes de Galileu e Marius, Kan Te, um astrônomo chinês descreveu ao observar Júpiter que havia uma estrela vermelha associada a ele, com condições muito especiais o satélite mais brilhante de Júpiter (Io) pode ser visto a olho nu (ON, 2009, p. 87).

Outra observação que ia contra o modelo geocêntrico foi a observação de que Vênus apresentava fases como a Lua (FIGURA 19) e que a única maneira disso ocorrer era se Vênus orbitasse o Sol. Todas essas descobertas levaram Galileu a refutar totalmente o modelo de Ptolomeu e tais observações "*sugeriram que os céus eram tão 'imperfeitos' quanto a Terra*" (Ibid, p. 88).

A igreja não aceitou as ideias contidas em seu livro sobre as manchas solares e sua crença no modelo de Copérnico, pois ia contra as escrituras da Bíblia e mandou que Galileu fizesse alterações. Galileu tinha a ideia de que "*Se uma preposição que foi provada (cientificamente) correta contradiz as escrituras sagradas, então a interpretação das escrituras tem de ser revisada; a*

Bíblia não erra, mas seus interpretadores podem errar" (GLEISER, 2006, p. 140).

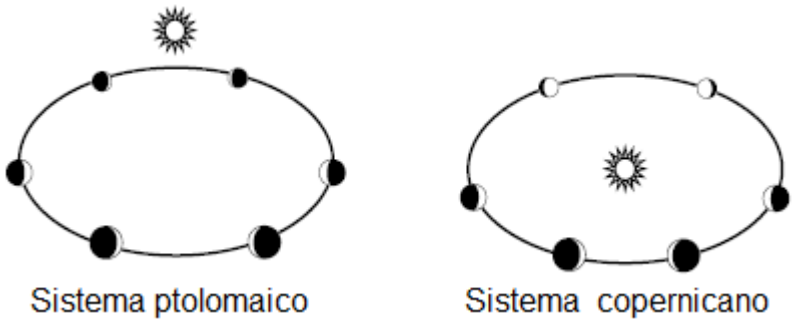

FIGURA 19 – FASES DE VÊNUS
FONTE: HAWLEY; HOLCOMB (2005, p. 52)

Depois do primeiro julgamento pela inquisição, Galileu ficou sete anos sem publicar trabalhos, após esse período em uma conversa com Papa Urbano VIII pediu permissão para escrever um livro tratando sobre os modelos de Universo ptolomaico e copernicano. O Papa autorizou, mas Galileu não podia fazer interpretações da Bíblia e não podia refutar que Deus seria a causa final de tudo.

Com seu livro publicado em 1632, chamado "diálogo sobre dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano" apresenta três personagens, o Simplício defendendo o modelo de Ptolomeu, Salviati as ideias de Copérnico e Sagredo um mediador que era neutro. No livro as discussões ocorrem em quatro dias (ou jornadas), na primeira a discussão se baseia sobre o céu e a Terra, o segundo sobre o movimento dos objetos e explica a independência dos movimentos, ou seja, o movimento na horizontal não afeta o da vertical. No terceiro dia descreve o modelo de Universo de cada um dos sistemas e no quarto dia fala sobre como poderíamos concluir que a Terra se movimenta em torno de seu eixo, baseado na teoria das Marés (GLEISER, 2006, p. 147 a 149).

Galileu foi intimado mais uma vez devido a forte afirmação que estava em sua publicação de que o modelo de Copérnico estava certo e entre tantos outros motivos. Uma delas foi a maneira como o personagem Simplício foi apresentado, defendendo o ponto de vista das ideias Aristotélicas e que foi comparado ao Papa pela roupa que estava vestindo. Em seu julgamento Galileu confirmou que sua defesa a Copérnico foi forte demais e ofereceu

refuta-la no seu próximo livro. A igreja o condenou mesmo assim a prisão perpetua domiciliar (ON, 2009, p 91).

Na prisão, Galileu fez vários estudos e desenvolveu o conceito de inércia e sobre relatividade, publicando seu último livro chamado “O discurso sobre duas novas ciências”, onde analisava de forma quantitativa o movimento dos objetos, tais resultados e conclusões foram utilizados por Isaac Newton.

As descobertas de Kepler (com base nos dados de Tycho) e as observações de Galileu fizeram ruir o modelo Ptolomaico do Universo, encontrando fortes indícios a favor do modelo de Copernico. As observações de Galileu eram provas que dificilmente poderiam ser contestadas, e assim um novo modelo de Universo passou a vingar.

4.3 NOVAS HIPÓTESES PARA O SURGIMENTO DO UNIVERSO

René Descartes (1596-1650) propôs novas ideias sobre o Universo, não no arranjo dos planetas, mas sim tentando explicar as órbitas com base em vórtices. Primeiro vamos entender como o Universo se originou segundo Descartes, ele não exclui Deus, mas que Ele apenas define as leis físicas e dá o início. Em um trecho de seu livro “Discurso do Método” descreve,

> ... se Deus criasse agora, em algum lugar em um espaço imaginário, matéria suficiente para formar um novo mundo, e se Ele agitasse as diferentes porções dessa matéria de diversos modos, e sem qualquer ordem, de modo que resultasse um caos tão confuso quanto o que os poetas imaginaram; e concluísse o Seu trabalho simplesmente prestando seu auxilio à Natureza do modo usual, deixando que ela agisse de acordo com as leis que Ele estabeleceu. (Descartes, apud MARTINS, 2012, p. 99)

Em outro livro “Princípios da Filosofia” explica que a formação do Universo teve inicio com um bloco sólido homogêneo que ocupava todo o espaço e então Deus deu um movimento às partículas desse bloco. Um desses movimentos é o de rotação em torno de si mesmo, consequentemente o bloco sólido foi se quebrando e se “pulverizando” dando origem a três “elementos”. “*Descartes imaginava que a matéria primordial foi agitada por Deus, de modo desordenado, em todas as direções. Esse movimento inicial produziria*

movimentos circulares: imensos turbilhões e de redemoinhos distribuídos pelo espaço" (MARTINS, 2012, p. 100). Tais elementos eram vistos como sendo diferentes em tamanho e na rapidez em que realizavam seus movimentos. Descartes tentou explicar vários fenômenos, citaremos aqui o da formação do sistema solar. A ideia base sempre gira em torno de vórtices (ou turbilhões).

> a Terra teria sido inicialmente uma estrela, no centro de seu turbilhão, e a Lua teria sido uma outra estrela menor, que se recobriu por uma casca antes do que a Terra, e penetrou no turbilhão da Terra enquanto ela ainda era uma estrela. Depois quando a Terra por sua vez perdeu o brilho, ela, juntamente com a Lua, penetrou e se estabeleceu dentro do grande turbilhão do Sol. (MARTINS, 2012, p. 102-103)

Descartes tentou abranger o máximo de fenômenos e como não acreditava em força a distância (sem contato) achou uma maneira bem elegante de explicar a formação do Universo a partir dos vórtices.

Isaac Newton (1642-1727) fez várias descobertas, foi um dos maiores gênios que já existiu. Criou o cálculo diferencial e integral[8], estabeleceu os fundamentos da mecânica, inventou o telescópio refletor e descobriu a lei da gravitação, demostrando que o mesmo fenômeno de uma maçã caindo pode ser relacionado com a órbita da Lua. "*Para Newton a natureza era uma manifestação da inteligência infinita de Deus. A racionalidade de sua ciência era carregada de espiritualidade*" (GLEISER, 2006, p. 99).

A pergunta que estimulou seus pensamentos era: o que impedia a Lua de sair de sua órbita? Podemos imaginar como um exemplo clássico que ele utilizou, pensou em um canhão em cima de uma montanha (FIGURA 20) (assim como a bola de canhão a Lua também cai continuamente em direção a Terra, mas a partir de uma certa velocidade o corpo permanece em órbita). "*Mas, quem faz a Lua 'cair' na direção da Terra? Newton nos disse que a Lua 'cai' continuamente em sua trajetória em torno da Terra por que existe uma força gravitacional que atrai em direção ao centro do nosso planeta*" (ON, 2009, p. 99-100), Newton nunca atribuiu sobre o que causaria a gravidade.

[8] Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) foi outro gênio que, independentemente de Isaac Newton, inventou o cálculo diferencial e integral. É creditado a Newton e a Leibniz o desenvolvimento do cálculo moderno.

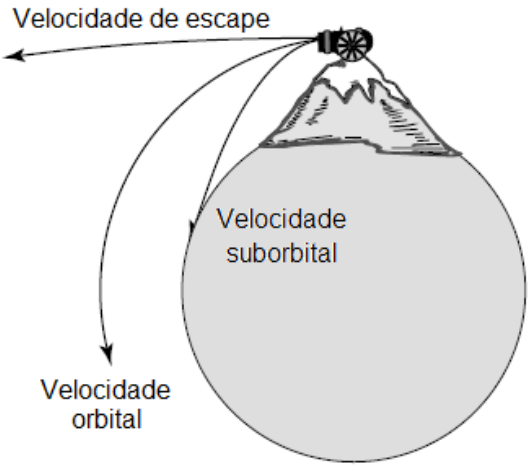

FIGURA 20 – MOVIMENTO ORBITAL
FONTE: HAWLEY; HOLCOMB (2005, p. 69)
Modificada pelo Autor (2015)

Newton descobriu que a força com que dois objetos se atraem varia com o inverso do quadrado de sua distância e que suas órbitas seriam representadas por elipses, fez todos os cálculos necessários para provar esses argumentos, mas não chegou a publicar nada. Vinte anos depois que Newton fez essa descoberta, Edmond Halley (1656-1742), Robert Hooke (1635-1703) e Christopher Wren (1632-1723) chegaram a mesma conclusão, mas não conseguiram demonstrar matematicamente essa expressão e nem que as órbitas seriam elípticas. Halley se encontrou com Newton e conversaram sobre o assunto e Newton afirmou que a órbita seria elíptica, mas não mostrou seus cálculos. A seguir temos um trecho desse encontro entre Halley e Newton:

> Em 1684 o doutor Halley foi visita-lo em Cambridge. Após passarem algum tempo juntos, o doutor perguntou [a Newton] qual seria a curva descrita pelos planetas, supondo que a força de atração ao Sol fosse inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Sir Isaac imediatamente respondeu que a curva seria uma elipse, e o doutor, impressionadíssimo e muito contente, perguntou como ele sabia. “bem”, disse ele, “eu encontrei esse resultado tempos atrás.” O doutor Halley pediu para ver esses cálculos imediatamente, mas, após procurar em seus papéis por algum tempo, sir Isaac disse que não conseguia encontrá-los prometendo que ele iria reproduzi-los e enviá-los em breve [...]. (Newton, apud GLEISER, 2006, p. 171)

É relatado que Newton sabia onde estavam os cálculos, mas não queria entregar sem antes revisar e checar se não havia nada de errado, pois

ele não aceitava muito bem críticas e já havia sido criticado no passado. Mais tarde ele mandou os cálculos e explicações sobre a órbita que afirmou e demonstrava matematicamente as três leis de Kepler utilizando princípios básicos, e com isso causou uma revolução na mecânica celeste.

Em 1687 publica o livro “Principia” tendo as suas famosas três leis e a lei da gravitação universal que podemos escrever matematicamente como:

$$F_g = G\frac{Mm}{d^2} \ , \qquad (2)$$

onde G é a chamada constante gravitacional (tendo seu valor de $6{,}67 \times 10^{-11}$ Nm²/kg²). M e m são as massas de cada uma das partículas. E d representa a distância que essas partículas estão uma da outra. Desse modo F_g exprime a força de interação gravitacional entre as duas partículas.

Tudo foi discutido em três livros, no segundo livro Newton crítica a ideia de Descartes sobre os vórtices e mostra que tal fenômeno é inconsistente com a estabilidade das órbitas planetárias. E no livro três relaciona as três leis de Kepler e a teoria de Galileu sobre o movimento dos projéteis e mostra que os dois representavam o mesmo fenômeno físico.

Newton nos fornece uma importante análise sobre o espaço e tempo,

> o espaço é basicamente a arena geométrica onde os fenômenos físicos ocorrem, o “palco do teatro”, que permanece indiferente aos fenômenos físicos que tomam parte nele. O tempo absoluto flui de modo contínuo e sempre ao mesmo ritmo, perfeitamente indiferente aos vários modos como nós, seres humanos, escolhemos marca-lo. (GLEISER, 2006, p. 174)

Temos então um espaço e tempo absolutos, ou seja, não existe relação entre espaço e tempo, pois fluem igualmente independentes do referencial adotado[9].

Newton acreditava em um Universo estático e infinito devido a sua lei da gravitação, pois se o Universo fosse finito a sua lei acabaria dizendo que após muito tempo toda a matéria se atrairia formando então um gigantesco aglomerado.

[9] Com a relatividade restrita de Albert Einstein (1879-1955), publicado em um artigo em 1905, esse conceito de espaço e tempo foi modificado, tornando-se um único fenômeno, chamado de espaço-tempo.

> A presença divina agia como um “éter” imaterial que não oferecia resistência aos corpos mas poderia movê-los por meio da gravitação [...] Deus tinha colocado as estrelas exatamente nas distâncias corretas uma em relação a outra de modo que a ação mútua de suas forças de atração gravitacional fossem canceladas, um equilíbrio tão preciso como de agulhas equilibradas por suas pontas. (ON, 2009, p. 104)

Com relação à natureza da força gravitacional, ele escreveu:

> O poder da gravidade deve ser causado por um agente de acordo com certas leis, mas se esse agente é material ou imaterial é uma questão que eu deixarei para a consideração de meus leitores (Newton, apud GLEISER, 2005, p 181-182)

Newton fez importantes mudanças, o Universo finito se tornou infinito devido suas leis e tudo que foi desenvolvido em ciência posteriormente tinha que seguir as leis proposta por ele.

Thomas Wright (1711-1786) sugeriu uma ideia de que as estrelas estavam distribuídas em uma região achatada de espessura fina e que nosso sistema solar estava em alguma região desse aglomerado de estrelas e consequentemente quando olhássemos para a direção do plano veríamos muito mais estrelas do que em outra direção. O Universo para ele era como se estivesse,

> contido em uma pequena concha situada entre duas esferas concêntricas. As estrelas estavam distribuídas de tal modo a “preencher o meio inteiro com um tipo de irregularidade regular do objeto”. Olhando ao longo da tangente à concha, veríamos uma quantidade enorme de estrelas. (ON, 2009, p. 111)

Immanuel Kant (1724-1804) após saber sobre as observações dos astrônomos de sua época, como Charles Messier (1730-1813), que fez várias observações catalogando por volta de 100 objetos novos, como aglomerados e nebulosas, sugeriu que essas nuvens (nebulosas) eram na verdade compostos de milhares de estrelas, mas que estavam tão distantes que víamos como uma nuvem, sugeriu que seriam outros Universos e chamou então de “Universos ilhas” (ON, 2009, p. 113).

Kant sugere uma hipótese para a origem do sistema solar, propôs que toda a matéria estava espalhada pelo Universo e com o passar do tempo devido a força gravitacional as partículas foram se atraindo dando origem a

uma matéria mais densa, posteriormente creditou uma nova força que era repulsiva,

> ... é um fenômeno incontestável da natureza, os elementos ao caírem em direção ao ponto de atração respectivo, são desviados lateralmente do movimento retilíneo, e a queda em linha reta se transforma em movimentos circulares que cercam o ponto central. (MARTINS, 2012, p.119)

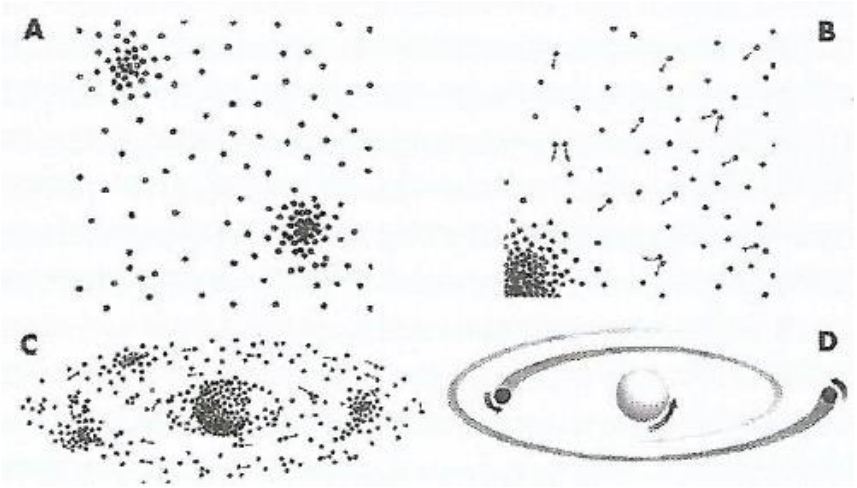

FIGURA 21 – FORMAÇÂO DO UNIVERSO SEGUNDO KANT. A) A matéria se aglutina devido a gravidade. B) Devido à força repulsiva algumas partículas em vez de caírem na concentração maior de matéria elas giram em torno desse centro. C) E dessas partículas novas aglutinações acontecem. D) Dando origem aos planetas.
FONTE: MARTINS (2012, p. 119).

Com a rotação e a atração gravitacional os planetas e o Sol foram se formando (FIGURA 21). Indo mais além fez a mesma analogia para a via Láctea. As estrelas como o Sol orbitavam um grande corpo celeste com uma atração gravitacional gigantesca (hoje acreditamos que tal corpo celeste seja um enorme buraco negro). Pensando no início do Universo acreditava que era infinito e preenchido totalmente por matéria, que estava em completo caos, mas após a ordem de Deus e em uma determinada região com as forças imposta por Ele ocorreu à origem.

William Herschel (1738-1822) construiu um enorme telescópio refletor e começou a catalogar vários objetos, chegou a catalogar 2500 nebulosas e descobriu o planeta Urano. "*ele gostava de comparar o céu a um jardim, 'que contém uma enorme variedade de seres'.*" (GLEISER, 2006, p. 198). Herschel tentou estimar o tamanho do Universo (Galáxia) se baseando no brilho das estrelas, assim era possível calcular a distância das mesmas, fez outra análise, contou o número de estrelas em duas regiões uma para o centro da galáxia e

outra para fora e percebeu que o número de estrelas por área era praticamente o mesmo, chegando à conclusão que estávamos no centro da galáxia (FIGURA 22).

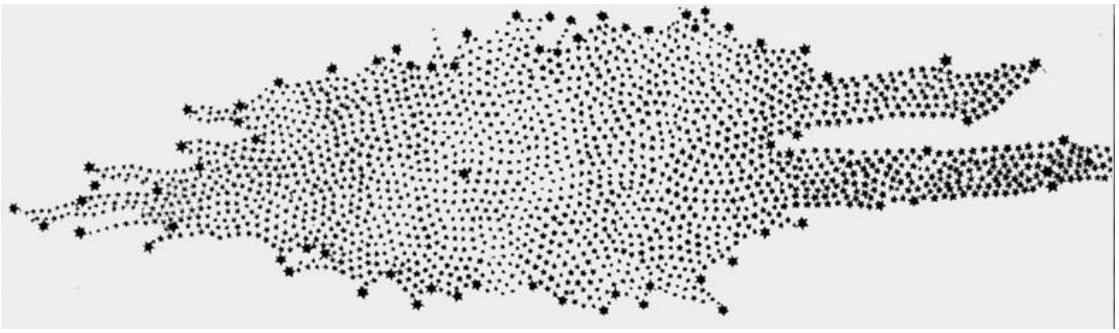

FIGURA 22 – UNIVERSO DE HERSCHEL
FONTE: ON (2009, p. 115)

Pierre Simon Marquis de Laplace (1749-1827) propôs uma hipótese de criação do sistema solar, no início era uma imensa massa de gás (nebulosa) quente e em rotação que com o passar do tempo foi se resfriando e se condensando até formar os planetas, estrelas e o Sol.

> ... à medida que a nuvem fosse lentamente se contraindo, haveria a contínua produção de faixas de matéria abandonadas ao longo do plano do equador da nuvem, criando uma espécie de disco fino, girando em torno da região central. (MARTINS, 2012, p.126)

Laplace se preocupou em explicar a formação do sistema solar, mas sobre o Universo como um todo não chegou a fazer nenhuma hipótese.

Heinrich Wilhem Mattaus Olbers (1758-1840) retomou uma questão que já havia sido questionada por outros intelectuais, atualmente a conhecemos como o “paradoxo de Olbers”, apesar de ser uma questão simples, é de difícil explicação. A questão indaga por que a noite é escura[10]. Herman Bondi (1919-2005) considera esse paradoxo como uma das bases da cosmologia moderna.

[10] Essa pergunta foi formulada primeiramente por Kepler em 1610, depois com Halley e Jean de Chéseaux no século XVIII, Jean argumentou que a luz emitida pelos corpos celestes tinham uma pequena diminuição. Outro a propor uma solução foi o poeta Edgar Allan Poe, propôs que o espaço era infinito, mas com uma idade finita, assim a luz dos corpos celestes não havia chego até nós. E finalmente em 1826 Olbers retoma essa questão em uma forma moderna tentando encontrar uma solução para essa questão (ON, 2009, p. 250)

Olbers considerava existirem milhares de estrelas e que devido a grande quantidade a noite na verdade seria tão clara como o dia. Para responder tal questão criou três hipóteses, a primeira foi considerar que todas as regiões do Universo são bem parecidas com a nossa, a segunda e terceira foi considerar que o tempo e o espaço não interferem na luminosidade que recebemos. Com tais hipóteses surge uma quarta que implicitamente considera o Universo como sendo estático (BONDI, 1968, p. 11-13).

Após algumas análises e considerando que as estrelas fossem iguais ao nosso Sol, Olbers chegou à conclusão que receberíamos um fluxo de luminosidade 50 mil vezes a mais que recebemos do Sol (tendo assim uma noite tão clara como o dia) e a temperatura da Terra chegaria a cinco mil graus Celsius.

> Começamos com uma teoria, o conjunto de hipóteses admitidas por Olbers. Delas deduzimos, por um raciocínio lógico, consequências susceptíveis de observação, isto é, a luminosidade do céu. Constatamos que as previsões da teoria não concordavam com os fatos observados; portanto, as hipóteses sobre o as quais a teoria esta baseada devem ser erradas. [...] Para escapar desse paradoxo, temos que deixar de lado pelo menos uma de suas hipóteses. (BONDI, 1968, p 16)

Se a hipótese que foi dada implicitamente for abandonada, desconsiderando que o Universo é estático e sim que ele esta se expandindo a questão pode ser respondida, visto que uma fonte em movimento diminui sua intensidade, e de tal modo que a expansão nos leva a uma noite escura (BONDI, 1968, p. 16).

Ao longo deste capítulo vimos que com as invasões bárbaras muito do que havia sido descoberto com os gregos foi esquecido, mas esse conhecimento não foi totalmente perdido, aos poucos foi ganhando força e com eles novos conceitos foram surgindo. O modelo de Ptolomeu se tornou conhecido e sendo a representação verdadeira do Universo, mas com Copérnico foi proposto o modelo heliocêntrico (já havia sido proposto por Aristarco como vimos). Esses dois modelos foram os mais importantes na época. O modelo de Ptolomeu estava apresentando problemas com relação à previsão dos movimentos dos corpos celestes, mas o modelo copernicano também apresentava dificuldades em prever os movimentos dos corpos

celestes. O que fez um dos modelos ser a melhor representação do Universo na época foi devido às observações que Galileu Galilei fez, desse modo um novo modelo se tornou o mais aceito.

As observações estavam indicando que não somos o centro do Universo, mas sim que orbitamos o Sol e não temos nenhuma posição privilegiada no cosmo, mas ainda tinha-se ideia que nosso sistema solar poderia ser o centro do Universo. Posteriormente foram surgindo ideias para tentar explicar como ocorreu a formação do sistema solar ou do Universo. Com Newton vimos o poder do cálculo e a lei da gravitação, que o levou a acreditar em um Universo infinito e estático.

Herschel tentou encontrar um valor para o tamanho do Universo e com suas observações acabou concluindo que poderíamos estar no centro de todo o cosmo. Aos poucos fomos evoluindo no entendimento do Universo, mas ainda assim não se sabia como ele poderia ser representando. Será realmente infinito ou finito? Sempre existiu ou teve um início? Tais questões foram abordadas posteriormente por Albert Einstein e outros pesquisadores como veremos no próximo capítulo.

5 A COSMOLOGIA MODERNA

Com a mecânica newtoniana alguns físicos consideravam que toda a física já estava descoberta, e que restavam apenas melhorias nos experimentos para terem dados mais exatos. Mas com a descoberta da relatividade e da mecânica quântica novos horizontes passaram a serem explorados. Veremos que com a relatividade geral de Einstein muitos modelos de Universo foram formulados, mas qual estaria realmente correto? Um Universo estático ou em expansão? Eterno ou com um início? Para comprovar qual a melhor teoria, nada melhor do que fazer observações no maior laboratório que existe, o Universo. Veremos que as observações definiram um modelo mais consistente. Neste capítulo percorreremos a trajetória do início da cosmologia moderna até o modelo mais aceito atualmente, a Teoria do Big Bang.

5.1 NOVOS MODELOS PARA O UNIVERSO

> O trabalho de Einstein inaugurou uma nova era no estudo da cosmologia, baseada nas aplicações da relatividade geral ao estudo do Universo como um todo, de modo a determinar sua estrutura e evolução. Depois de um século de relativo silêncio, os cientistas mais uma vez se perguntariam sobre a estrutura, tamanho, idade e futuro do Universo. (GLEISER, 2006, p. 324)

Em 1915, Albert Einstein (1879-1955) propôs a Teoria da Relatividade Geral e aplicou-a no Universo como um todo. Nesta teoria está contido o princípio cosmológico[11] que nos diz que em grandes escalas o Universo é homogêneo[12] e isotrópico[13]. Em seus cálculos chegou a conclusão que o Universo estava se expandindo, mas como acreditava em um

[11] Formulado primeiramente por Edward Milne e nos diz que não estamos em alguma posição privilegiada no Universo. As principais teorias cosmológicas tem como base a adoção desse princípio, que o Universo em expansão deve ser homogêneo e isotrópico. Válido apenas para grandes escalas (SOUZA, 2004).

[12] Um Universo homogêneo é considerado como sendo o mesmo em todos os lugares, outro modo de dizer é invariante por translações no espaço.

[13] Um Universo isotrópico é caracterizado como sendo o mesmo independente da direção que observemos, outro modo de dizer é invariante por rotações no espaço.

Universo estático teve que adicionar um termo a mais em suas equações chamado primeiramente de “pressão negativa”, que posteriormente ficou conhecida como constante cosmológica e representada pela letra grega Λ (lambda). Seu Universo era finito e estático e ele acreditava que possuía as seguintes virtudes,

> 1) podia relacionar a massa do universo com a constante cosmológica, o que estava em acordo com o princípio de Mach[14]; 2) mostrou ser possível construir um modelo cosmológico consistente com a relatividade geral; 3) acreditava ser este o único modelo com essas características. (WAGA, 2005, p.158)

Observações posteriores à modificação de sua teoria indicavam que o Universo estava se expandindo. Por acreditar em um Universo estático e tendo adicionado a constante cosmológica, fez desse fato, como ele mesmo relatou, o maior erro de sua vida. Pois as primeiras equações que ele encontrou representavam um Universo em expansão, mas por confiar na sua intuição acabou adicionando um termo a mais tendo assim um Universo estático.

No mesmo ano em que Einstein publicou suas equações para representar o Universo, Willem de Sitter (1872 - 1934) encontrou uma nova solução das equações de Einstein. O Universo que De Sitter encontrou era estático como o de Einstein, mas não conteria nenhuma matéria ou energia, apenas existia o espaço geométrico e suas equações também incluía a constante cosmológica. Posteriormente com outros pesquisadores como Arthur Stanley Eddington (1882 - 1944), trabalharam com o Universo De Sitter adicionando algumas partículas nesse Universo e perceberam que esse modelo representava uma expansão, de modo que as partículas se afastariam uma das outras devido o espaço se expandir. Um fenômeno que aconteceria se esse modelo estivesse certo, seria a existência de uma relação entre a distância e o deslocamento para o vermelho (ou sua velocidade).

[14] O princípio de Mach nos diz que a inércia de qualquer corpo é devido à interação com corpos distantes do Universo e não uma propriedade intrínseca dos corpos. (ASSIS; OSVALDO, 2001)

Se no lugar de partículas imaginarmos estrelas, um observador poderia detectar a luz proveniente delas e veria seu espectro deslocado para o vermelho (ou seu termo inglês chamado de *redshitf*) que ocorre devido à expansão do espaço. Vamos imaginar uma onda se propagando pelo espaço (FIGURA 23), conforme ela viaja pelo espaço seu comprimento de onda aumenta devido à expansão do Universo e ao chegar ao observador não terá o mesmo comprimento de onda de quando saiu da estrela, ocorrendo então o *redshift*.

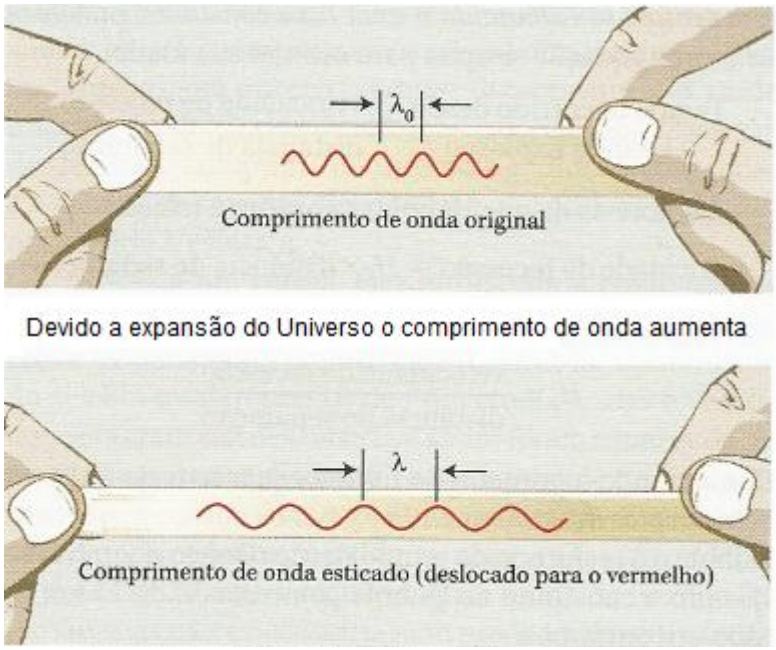

FIGURA 23 – AUMENTO DO COMPRIMENTO DE ONDA
FONTE: COMINS; KAUFMANN III, (2010, p. 521)

Temos dois modelos até agora, o modelo de Einstein que apresenta como sendo estático, finito e com matéria. E o de De Sitter que mostra um modelo sem matéria, infinito e em expansão.

Em 1922 Alexander Alexandrovich Friedmann (1888-1925) publicou um artigo onde descrevia duas classes de Universos, um era em expansão e outra oscilatório (GRÁFICO 1), a forma iria depender da quantidade de matéria contida no Universo. A equação 3 é a chamada equação de Friedmann, não entraremos em detalhes, adotaremos como curiosidade, nela podemos observar o termo k e dependendo de seu valor o Universo pode ser representado com uma determinada geometria, as possíveis geometrias podem ser vistas na tabela 1.

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{kc^2}{a^2} \quad , \qquad (3)$$

onde G e c são duas constantes, a primeira é a constante gravitacional e a segunda a velocidade da luz no vácuo. O valor de k determina a geometria do Universo, H é o parâmetro de Hubble (veremos a seguir seu significado), ρ é a densidade de matéria e radiação total no Universo visível e a é o fator de escala do Universo ou fator de expansão.

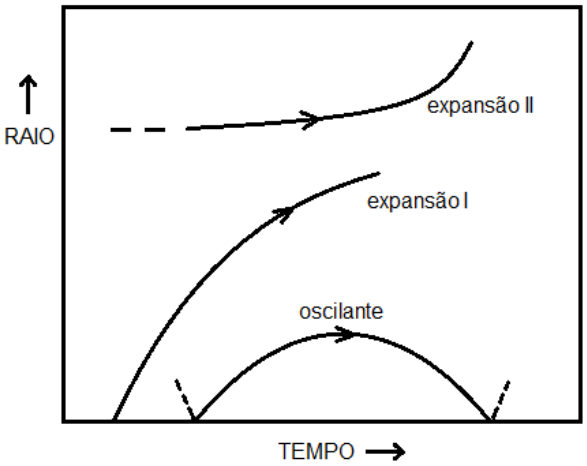

GRÁFICO 1 – MODELOS DE UNIVERSO SEGUNDO FRIEDMANN
FONTE: GLEISER (2006, p. 335)

TABELA 1 – Valores de k e as possíveis geometrias do Universo.

Curvatura	Geometria	Ângulos para o triangulo	Circunferência para o circulo	Tipo de universo
$k > 0$	Esférica	$> 180°$	$c < 2\pi r$	Fechado
$k = 0$	Plano	$180°$	$c = 2\pi r$	Plano
$k < 0$	Hiperbólico	$< 180°$	$c > 2\pi r$	Aberto

FONTE: LIDDLE (2003, p. 29) Modificada pelo Autor (2015).

> Friedmann descobriu a possibilidade de um universo em expansão, mas não a expansão do universo [...] além de expansionista é espacialmente homogêneo, isotrópico em relação a qualquer ponto, e possui uma origem no passado em que a densidade de matéria diverge. [...] tornou-se base do modelo padrão da cosmologia. (WAGA, 2005, 159)

George Edward Lemaître (1894-1966) obteve de forma independente as equações equivalentes a de Friedmann. Mas diferente dos outros modelos, Lemaître não deu apenas atenção à matemática, mas buscou também os aspectos físicos e a astronomia da época (WAGA, 2005, p. 159). Em 1927 propôs devido às equações da relatividade geral e as observações feitas por

Edwin Powell Hubble (1889-1953) que o Universo teria começado como sendo um átomo primordial muito quente e denso. E devido à energia ser extremamente alta levou a uma grande explosão criando assim o espaço-tempo, e após a explosão o Universo expandiu (COMINS; KAUFMANN III, 2010). O modelo de Lemaître só ganhou conhecimento maior em 1930 quando de Sitter após ler o artigo escreveu uma carta para Harlow Shapley (1885-1972) dizendo "*Eu encontrei a solução verdadeira, ou pelo menos uma solução possível, que deve estar aproximadamente próxima da verdade em um artigo... de Lemaître... que tinha escapado de minha atenção na época.*" (De Sitter, apud ON, 2009, p. 135).

5.2 AS OBSERVAÇÕES DEFINEM UM CAMINHO

Como vimos Kant propôs os Universos-ilhas e ninguém ainda havia descoberto se muito do que vemos está além da nossa galáxia ou dentro dela. Para isso métodos de medições de distâncias foram criados, a mais antiga é a paralaxe estelar (ou paralaxe trigonométrica) (FIGURA 24). Quando comparamos uma estrela próxima com outras muito mais distantes teremos a impressão de que ela se moveu, mas na realidade isso ocorre devido ao movimento orbital da Terra em torno do Sol, quanto mais distante essa estrela estiver menor vai ser a paralaxe.

Posteriormente outros métodos foram sendo utilizados, temos alguns exemplos como, o movimento próprio que permitia detectar distâncias um pouco mais além do que utilizando o método da paralaxe estelar, estudando o espectro da estrela observada, a partir de supernovas, observando estrelas variáveis Cefeídas[15]. Com o avanço dos métodos utilizados para as medições, poderíamos então concluir se realmente os Universos-ilhas que Kant afirmava existem.

[15] "*Variáveis Cefeídas são estrelas pulsantes cujo período é proporcional à luminosidade intrínseca, o que permite determinar a distância a que se encontram do Sol.*" (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 433).

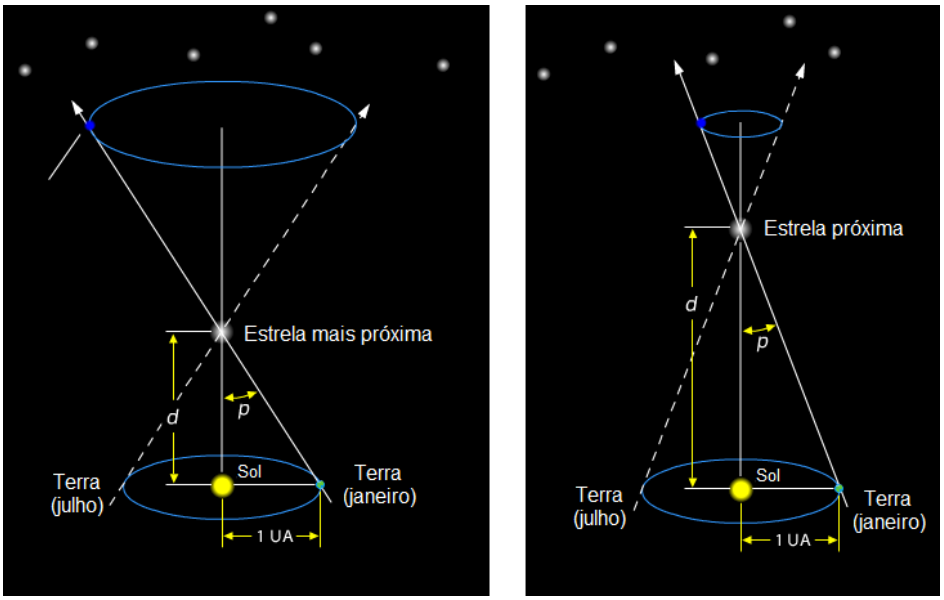

FIGURA 24 – PARALAXE ESTELAR
FONTE: COMINS; KAUFMANN III (2010, p. 340).

Em 1912 Vesto Melvin Slipher (1875-1969) depois de analisar o espectro da luz de estrelas e nebulosas percebeu que o espectro da galáxia de Andrômeda estava deslocado para o azul[16] (ou *blueshift*), constatou que a galáxia estava se aproximando com uma velocidade de 300 km/s, até o ano de 1923 havia realizado no total de 41 análises e apenas cinco delas mostravam que essas nebulosas estavam se aproximando de nós. A realização de tais medidas de velocidade foi possível devido ao chamado efeito Doppler[17] (WAGA, 2005, p. 160).

Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939) propôs outro método de cálculo para medir as velocidades,

> notou que os diâmetros aparentes das galáxias podiam ser usados como indicadores de distâncias uma vez que quanto maior fossem suas distâncias até nós menores eram seus diâmetros aparentes. Com base nisso ele encontrou que a velocidade de recessão das galáxias aumentava com a distância a nós [...] o primeiro a propor uma relação distância – velocidade. (ON, 2009, p.168)

[16] Deslocamento para o azul ocorre quando todos os padrões espectrais se deslocam para o comprimento de onda mais curto.

[17] O Efeito Doppler tem esse nome em homenagem a Johann Christian Andreas Doppler (1803-1853) devido a ter sido o primeiro a descrever teoricamente esse fenômeno em 1842 e foi provada 3 anos mais tarde em uma locomotiva com uma orquestra de trompetes sobre o vagão aberto. Esse efeito decorre que, um observador vai receber um comprimento de onda maior quando uma fonte que esta emitindo tende a se afastar dele, mas se estiver se aproximando o comprimento de onda para o observador será mais curto.

Em 1920 houve o chamado “O Grande Debate” sobre a determinação das distâncias para as galáxias, Herbert Curtis (1872-1942) defendia que as nebulosas espirais eram galáxias individuais (ou Universos-ilhas de Kant) e analisando estrelas próximas chegou a um valor de 30 mil anos luz para o diâmetro da nossa galáxia, desse modo concluiu que essas nebulosas seriam galáxias independentes da nossa. Já Harlow Shapley chegou a um valor de 300 mil anos-luz analisando as variáveis Cefeídas (elas apresentavam brilho fraco devido a nuvens que absorviam a radiação e por isso chegou a um valor tão alto) e concluiu que as nuvens de Magalhães faziam portanto parte de nossa galáxia (SOUZA, 2004, p. 29-30). No final do debate nada havia sido decidido, a verdadeira concepção da existência dos Universos-ilhas permanecia um mistério que seria resolvido mais tarde com as descobertas de Edwin Hubble.

Hubble, após conseguir um trabalho no observatório do monte Wilson, fez várias observações e catalogou muitas variáveis Cefeídas em Andrômeda e em outras nebulosas. Com o método das cefeídas calculou a distância de cada cefeída analisada até a nossa galáxia. Chegou a conclusão que Andrômeda estava muito mais distante do que o diâmetro da nossa galáxia, de modo que nosso Universo é muito maior do que pensávamos e a veracidade dos universos-ilha chega ao fim. Hubble e seu assistente Milton Lasell Humason (1891-1972) encontraram em 1929 uma relação linear entre a distância das galáxias e suas velocidades, tiveram como base o deslocamento para o vermelho (FIGURA 25), quanto maior à distância, maior será a velocidade da galáxia (GRÁFICO 2).

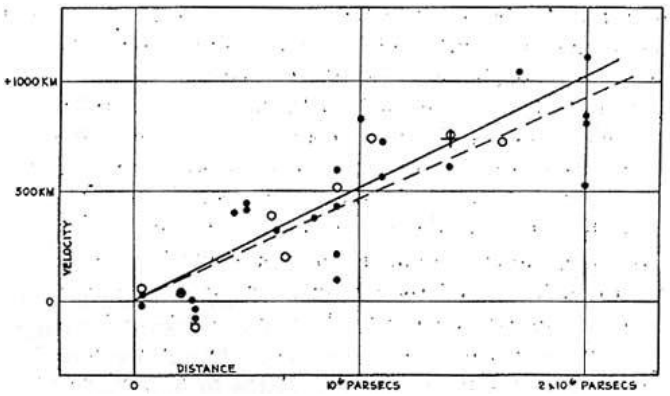

GRÁFICO 2 – DADOS OBTIDOS POR HUBBLE E HUMANSON. Velocidade versus distância de algumas galáxias.
FONTE: ON (2015, p. 152)

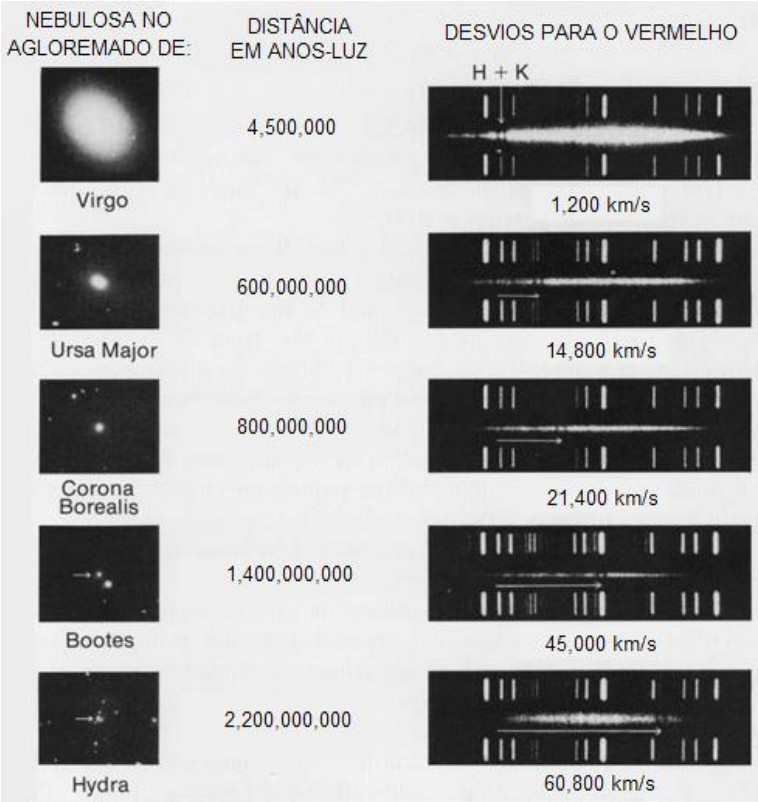

FIGURA 25 – RELAÇÃO DISTÂNCIA-GALÁXIA
FONTE: BONDI (1968, p. 24).

"*o próprio Hubble afirmou que foi o modelo de De Sitter que chamou a atenção dos astrônomos para a importância da dependência entre o deslocamento para o vermelho e a distância*". (WEINBERG, 1980, p. 31).

Hubble em seu artigo "Uma relação entre a distância e a velocidade radial de nebulosas extragalácticas" publicado em 1929 chegou a uma relação linear entre a distância e a velocidade, dada por,

$$v = H_0 d \quad . \tag{4}$$

Onde v e d são a velocidade e a distância da galáxia analisada. O termo H_0 é chamado constante de Hubble. Hoje sabemos que para cada época da evolução do Universo ela teve valores diferentes.

"*não era claro que a relação entre o desvio para o vermelho (velocidade) e a distância fosse, de fato, uma relação linear [...] a possibilidade de que esta relação fosse quadrática.*" (WAGA, 2005, 161). "*resultados interpretados de forma duvidosa [...] a relação velocidade-distância foi uma*

extrapolação corajosa e brilhante." (ON, 2009, p. 169). Os dados que Hubble tinha até aquele momento não eram suficientes para concluir que existia realmente essa relação, mas como ele acreditava que isso de fato ocorria publicou seu artigo para que a comunidade científica conhecesse sua descoberta. "*Desde os anos 1930 até os dias de hoje ainda não possamos ter certeza absoluta sobre o valor exato desta constante de proporcionalidade*" (SOUZA, 2004, p. 50).

O primeiro valor que Hubble encontrou para essa constante foi de 600km/s/Mpc[18]. Os dados mostravam que a maioria das galáxias está se afastando de nós e isso pode gerar duas perguntas, a primeira é se somos o centro do Universo? Devido a todas as galáxias estarem se afastando de nós. E a segunda pergunta é o caso em que ao retrocedermos no tempo as galáxias vão se aproximar cada vez mais uma das outras, ficando cada vez mais perto de uma única região, desse modo podemos estimar uma idade para o Universo?

Na primeira questão devemos lembrar-nos do princípio cosmológico, se estivéssemos em outra galáxia observaríamos os mesmos fenômenos, um exemplo simples seria imaginarmos tal situação fazendo uma comparação do Universo com uma bexiga contendo alguns pontos sobre sua superfície, conforme inflarmos a bexiga os pontos tenderam se afastar um dos outros a mesma taxa independente do ponto que escolhermos como referência (as galáxias não sofreram com a expansão do Universo, a matéria permanece constante, ou seja, enquanto a radiação tem seu comprimento de onda aumentado a matéria não se tornara maior).

Para a segunda questão vamos pensar na seguinte situação, se todas as galáxias estão se afastando de nós, havia um momento em que se retrocedermos no tempo elas estariam todas muito próximas e quanto mais retrocedermos mais próximas elas ficariam, se tornando como no caso proposto por Lemaître um átomo primordial. Desse modo podemos estimar o tempo de

[18] A unidade pc é chamada de Parsec utilizada muito como unidade de distância em astronomia, um pc equivale a 3,26 anos-luz, ou cerca de $3{,}09 \times 10^{13}$ quilômetros.

existência do Universo, até o momento atual as galáxias percorreram certa distância e supondo que sempre estiveram com a mesma velocidade, podemos utilizar a lei de Hubble de modo a chegar a equação 5.

$$t_H = \frac{1}{H_0} \quad . \tag{5}$$

Utilizando o primeiro valor encontrado para a constante de Hubble (600km/s/Mpc), podemos chegar a uma estimativa da idade do Universo, seu valor é aproximadamente:

$$t_H = 1{,}674x10^9 \text{anos} \quad . \tag{6}$$

O valor encontrado ficou bem abaixo do que conhecemos hoje e na época em que Hubble fez os cálculos chegou a um valor próximo a 2 bilhões de anos, mas geólogos da época já haviam determinado a idade da Terra em torno de 4,5 bilhões de anos, havendo assim um grande impasse sobre a verdadeira idade do Universo e para resolver esse problema temos um outro modelo para o Universo que veremos a seguir. Os resultados mais recentes da constante de Hubble são de (72 $\pm$ 8)km/s/Mpc divulgado em 2001 e (70,1 $\pm$ 1,3)km/s/Mpc obtido pelo satélite artificial norte-americano Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) em 2003 (ON, 2009, p. 179). Calculando a idade do Universo com o resultado da constante de Hubble de 2003 chegamos a um valor aproximadamente de 14,35 bilhões de anos, valores atuais giram em torno de 13,7 bilhões de anos.

As realizações de medidas mais precisas da constante de Hubble levaram a ampla aceitação de que o Universo realmente estava em expansão, mas até que isso ocorresse outras hipóteses foram apresentadas para o efeito do *redshift*, se alguma delas estivesse certa poderia acabar com as ideias de Hubble. Uma dessas hipóteses foi proposta por Fritz Zwicky (1898-1974) em 1929. Ele explica que quanto mais distante uma galáxia, mais perda de energia o fóton vai ter, até esse fóton chegar a nós ocorreria um "*arrasto gravitacional, pelo qual fótons [...] perdem energia e momentum para o meio material gerador do campo gravitacional*" (WAGA, 2005, p. 161), desse modo o deslocamento

para o vermelho era devido a esse fenômeno e não pela expansão do Universo, mas para essa teoria ser aceita "*a variação da largura das linhas de emissão e absorção com a distância seriam bem distintas, o que não foi comprovado*" (Ibid, p. 161-162).

Antes de apresentarmos outras observações que levaram ao modelo mais aceito sobre a origem do Universo vamos entender, a seguir, como era o principal concorrente da teoria do *Big Bang*.

5.3 MODELO DO ESTADO ESTACIONÁRIO

Em 1948 Hermann Bondi (1919-2005), Thomas Gold (1920-2004) e Fred Hoyle (1915-2001) desenvolveram um modelo de Universo concorrente ao do *Big Bang*. Esses dois modelos apresentam uma grande diferença, enquanto o *Big Bang* tem um início no tempo, o modelo do Estado Estacionário sempre existiu. Nesse modelo do Estado Estacionário "*em toda parte e em todos os tempos, está havendo uma contínua criação de matéria [...] equivalente à massa de uma partícula de pó em cada milhão de anos, aproximadamente.*" (BONDI, 1986, p. 30).

Nesse modelo temos uma extensão do princípio cosmológico, sendo denominado como princípio cosmológico perfeito. Assim, além de apresentar a homogeneidade e isotropia, o Universo é o mesmo em qualquer intervalo de tempo e conforme o espaço se expande nova matéria é criada de modo que a densidade do Universo permanece sempre a mesma. A criação de matéria não viola uma das principais leis da Física, a conservação de energia, pois o tempo para a criação de matéria é tão longo que isso pode demonstrar que nossas medidas da conservação podem não estar tão corretas, o erro pode ser extremamente pequeno de modo que não conseguimos detecta-lo ainda (GLEISER, 2006, p 358).

Essa criação ocorre à medida que as galáxias se afastam, se considerarmos uma região com cinco galáxias, com o decorrer do tempo elas se afastarão e nova matéria surgirá no lugar delas, de modo a formarem novas galáxias e a região escolhida terá sempre o mesmo número de galáxias (FIGURA 26), simplificando, "*matéria recém-criada se condensa para formar*

novas galáxias de maneira que a distância média permanece a mesma" (BONDI, 1986, p. 33).

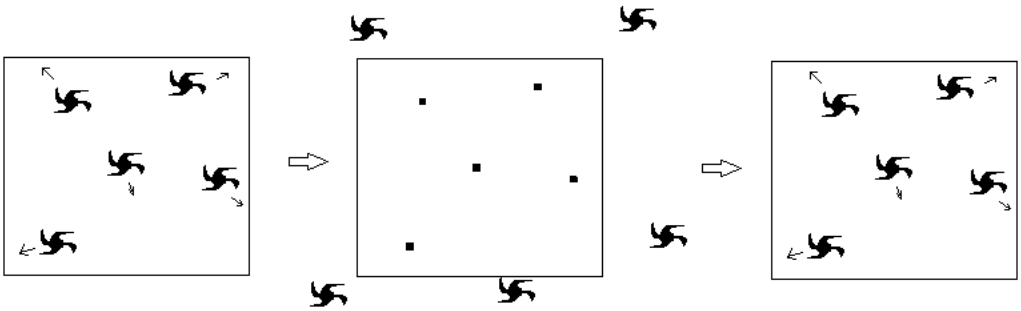

FIGURA 26 – UNIVERSO ESTADO ESTACIONÁRIO
FONTE: BONDI (1986, p. 31-32), modificado pelo Autor (2015)

Existem algumas maneiras de comprovar se esse modelo representa o Universo em que vivemos, um dos testes é observar se existem mais galáxias velhas (poucos luminosas) ou mais galáxias jovens (mais luminosas), outra maneira seria verificar se existe alguma real relação entre as distâncias das galáxias. Adiante vamos entender como surgiu o modelo do Big Bang e posteriormente como as observações levaram a escolha de um desses modelos.

5.4. GEORGE GAMOW E O MODELO DO *BIG BANG*

No mesmo período em que Bondi, Gold e Hoyle propuseram o modelo do Estado Estacionário, George Gamow e colaboradores, como Ralph Asher Alpher e Robert Herman, defenderam a ideia que houve uma grande explosão e que após essa explosão o Universo era como uma "sopa" e deram o nome a essa substância de "ylem" que era composta de nêutrons e fótons muitos energéticos, o universo era extremamente quente com temperatura superior a 10^{39} K. Os nêutrons começaram a sofrer decaimentos[19] e se transformaram em prótons, conforme o Universo se expandia "*o deslocamento*

[19] Decaimento ocorre em partículas ou átomos, é uma transição em que ocorre uma transformação nuclear devido sua instabilidade. Os decaimentos mais comuns são o alpha, beta e gama. No caso do nêutron quando decai se transforma em um próton emitindo um elétron e um antineutrino de elétron.

para o vermelho cosmológico esticou os comprimentos de onda dessa radiação" (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 523), desse modo a energia dos fótons diminuiu e o Universo foi se tornando cada vez mais frio. Os fótons se tornando menos energéticos deram condições para que os átomos pudessem ser formados "*a ideia era que, através de processos sucessivos de fusão e decaimento [...], todos os elementos químicos mais pesados poderiam ser formados."* (WAGA, 2005, p. 163).

Em 1945 Gamow e Hermann publicaram um artigo no qual calculavam a temperatura desta radiação que estaria nos dias de hoje como um resíduo da explosão que havia ocorrido. Essa radiação é conhecida hoje como a radiação cósmica de fundo, veremos adiante como ocorreu sua comprovação realizada através das observações.

"*Gamow, em seu tom sempre irreverente, escreveu sua própria versão do Livro do Gênesis:*" (GLEISER, 2006, p. 367)

> No início Deus criou a radiação e o ylem. E o ylem não tinha forma ou número, e os núcleos [os prótons e os nêutrons] moviam-se livremente sobre a face das profundezas.
> E Deus disse: "Faça-se a massa dois". E a massa dois apareceu. E Deus viu o deutério, e ficou satisfeito.
> E Deus disse: "Faça-se a massa três". E a massa três apareceu. E Deus viu o trítio e o tralfium, e ficou satisfeito [...]
> E Deus disse: "Faça-se o Hoyle". E o Hoyle apareceu. E Deus olhou para o Hoyle e lhe disse para fazer elementos pesados do modo que ele preferisse.
> E o Hoyle decidiu fazer elementos pesados em estrelas, e espalhá-los através do espaço em explosões do tipo super-nova [...]. (Gamow, apud GLEISER, 2006, p. 367-368)

Tralfium foi o nome dado por Gamow para o que chamamos hoje de hélio 3 (composto de 2 prótons e um nêutron), que é um isótopo do hélio (composto de 2 prótons e 2 nêutrons).

Utilizando a cosmologia relativística e a física nuclear, por esse modelo foi possível estimar a quantidade de hélio no Universo primordial. Gamow chegou a um valor de 24%. Outra previsão, como já vimos, foi com relação a radiação cósmica de fundo, tais ideias só podem ser consideradas consistentes com a comprovação pelas observações. A seguir vamos acompanhar como as observações favoreceram apenas um dos dois modelos apresentados.

5.5 *BIG BANG* X ESTADO ESTACIONÁRIO

Vimos que existiam duas teorias principais sobre o Universo, cada uma com seus defensores, os defensores do *Big Bang* acreditavam que o Universo surgiu com uma grande explosão e os defensores do Estado Estacionário alegavam que o Universo sempre existiu e nunca teve um começo, sendo assim eterno.

Tiveram-se três problemas que resultaram no fim do modelo do Estado Estacionário. O primeiro foi com relação a idade do Universo, vimos que as primeiras estimativas utilizando o tempo de Hubble era de 2 bilhões de anos e isso representava um grande problema visto que a idade da Terra já era calculada como sendo de 4,5 bilhões de anos, mas Walter Baade (1893-1960) melhorou o valor da constante de Hubble e chegou a valores maiores que 10 bilhões de anos (tendo assim um valor maior que o tempo de existência da Terra), de modo que o modelo do *Big Bang* não estaria tão incorreto.

O segundo problema foi com relação a quantidade de fontes emissoras de radiação (as galáxias), era para se encontrar mais fontes “velhas” (ou galáxias velhas) do que fontes “novas” (galáxias novas). Mas as observações iam contra as estimativas feitas por Hoyle, chegando-se a um número muito menor dessas fontes “velhas” do que o esperado.

O terceiro problema foi a descoberta feita por Robert Woodrow Wilson (1936-) e Arno Allan Penzias (1933-) em 1964. Estavam usando a antena do laboratório da Bell Telephone em New Jersey “*para medir a intensidade das ondas de rádio emitidas pela nossa galáxia em latitudes galácticas elevadas, isto é, fora do plano da Via Láctea.*” (WEINBERG, 1980, p. 40). Como o sinal recebido era fraco foi necessário identificar qualquer ruído que poderia atrapalhar nas leituras dos dados, de modo que qualquer outro ruído tinha que ser compensado e se possível eliminado[20]. “*Infelizmente detectaram uma espécie de chiado que teimava em driblar todos os seus esforços para ‘purificar’ o sinal recebido pela antena. Eles investigaram*

[20] Até mesmo pombos foram tirados da antena para diminuir o ruído, mas acabaram voltando e outros métodos foram utilizados para que não voltassem mais. Penzias se referiu a uma substância deixada pelos pombos como “um material dielétrico branco” que também poderia interferir nos dados (WEINBERG, 1980, p. 42).

cuidadosamente seus equipamentos, mas o chiado não ia embora" (GLEISER, 2006, p. 370). Esse ruído independentemente para onde a antena fosse apontada era o mesmo, não souberam interpretar o que estava acontecendo, mas através de cálculos descobriram que a temperatura dessa radiação era em torno de 3,5 K.

Na mesma época em que Penzias e Wilson descobriram a radiação cósmica de fundo, um grupo liderado por Robert Henry Dicke (1916 – 1997) havia decidido construir uma antena para detectar essa radiação, mas não esperavam que essa descoberta fosse acontecer por acaso.

P.J.E. Peebles (1935-) trabalhava no grupo de Dicke e descobriu independentemente por teoria a radiação cósmica de fundo. Peebles em uma conferência havia proposto a existência de um ruído de fundo de ondas de rádio devido aos instantes iniciais do Universo e previu uma temperatura de 10K.

Essa radiação já havia sido proposta por Gamow em 1948 e chegou a uma temperatura de 5 K sendo um possível resíduo de uma época inicial com temperaturas e densidade extremamente altas, que poderiam ser resultado da formação de elementos químicos que hoje observamos no Universo (SOUZA, 2004, p. 133).

Pebbles chegou a conclusão que os elementos mais pesados não teriam uma fração significativa devido a quantidade de radiação ser muito alta, impedindo assim a formação desses elementos. Com o decorrer da expansão a temperatura foi diminuindo chegando ao que observamos hoje como um ruído de todas as direções. Tais previsões de Peebles e as observações de Penzias e Wilson estavam se encaixando, o ruído encontrado por eles seria a radiação cósmica de fundo proposta por Peebles e antes dele por Gamow, seria como um "fóssil" do Universo em que vivemos.

> A micro-onda cósmica de fundo, também chamada *radiação de fundo de 3 graus*, é requerida pela teoria da Grande Explosão, mas não é necessária nem predita pela outra teoria cosmológica concorrente. A detecção da micro-onda cósmica de fundo é a principal razão da aceitação pelos astrônomos da Grande Explosão como a teoria cosmológica correta. (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 523)

Posteriormente vários outras medidas foram feitas para obter resultados dessa radiação cósmica de fundo, medidas muito precisas foram feitas pelo satélite *COsmic Background Explorer* (COBE) (FIGURA 27) esses dados mostram que o Universo se comporta perfeitamente como um corpo negro[21] a uma temperatura de 2,725 K. Medidas dessa radiação foram melhoradas pela sonda *Wilkinson Anysotropy Probe* (WMAP) e do balão que carrega o telescópio BOOMERANG. A seguir vamos compreender o modelo cosmológico padrão (ou *Big Bang*), o que realmente é a radiação cósmica de fundo e todos os outros processos que levaram a evolução do Universo.

A cem anos atrás Einstein propôs a teoria da relatividade geral e posteriormente a aplicou ao Universo. Vários outros pesquisadores trabalharam com essas equações e encontraram vários outros modelos para o Universo, mas devido novamente as observações apenas um deles acaba sendo o mais aceito. Essa variedade de modelos também pode ser percebida nos mitos, onde se tem Universos considerados como sendo eternos, alguns cíclicos, outros considerados eternos também, mas que a partir de determinado evento o tempo surgiu e tudo no Universo foi então formado. O que antes era explicado por deuses, agora passou a ser explicado por equações e conceitos físicos. Independente da época, haviam explicações para o Universo em que vivemos. Com as observações se definiu o modelo do Universo correto para cada época (como exemplo, as observações de Galileu que fizeram ruir o modelo de Ptolomeu) e devido as observações se definiu um novo modelo, a Teoria do *Big Bang*.

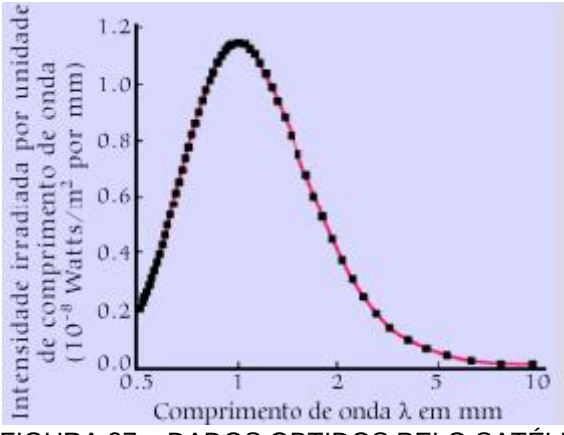

FIGURA 27 – DADOS OBTIDOS PELO SATÉLITE COBE
FONTE: ROSENFELD (2005, p. 34)

[21] Um corpo negro ideal é dito quando a radiação se encontra em equilíbrio termodinâmico com o meio, ou seja, o meio absorve e reemite toda a radiação que nele chega.

6 A ESTRUTURA DA TEORIA DO BIG BANG

Desde De Sitter tivemos modelos que nos mostravam um Universo finito que se expande, posteriormente outros modelos foram sendo propostos e vimos os primeiros indícios do modelo do *Big Bang,* que surgiram com Friedmann, Lemaître, chegando até Gamow. As observações nos levaram a acreditar que ao retrocedermos no tempo tudo que existe no Universo fica cada vez mais próximo um do outro e como vimos, teremos um Universo primordial extremamente quente e denso, retrocedendo mais a singularidade. Toda a evolução do Universo pode ser vista na figura 28, tendo como referência esta figura vamos buscar compreender um pouco mais cada evento ou etapa que o Universo passou.

As explicações que os cientistas conseguem sobre o Universo vão até a menor escala de tempo conhecida, o tempo de Planck, onde o Universo tinha 10^{-43} segundos de existência e temperatura de 10^{32} K. Nesse momento a gravidade se separa das outras três forças fundamentais da natureza. Tendo assim o período chamado de GUT (do inglês *Grand Unified Theory*), onde a força forte, força fraca e a força eletromagnética representam apenas uma única força devido a terem as mesmas intensidades (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 526). Para tempos ainda mais curtos não se tem certeza do que teria ocorrido, pois as quatro forças fundamentais[22] estavam unidas em uma única força, mas existem algumas teorias para tentar explicar como essa única força se comportava, uma delas é a teoria das cordas.

> Durante trinta anos Einstein buscou uma teoria unificada da física que entrelaçasse todas as forças e todos os componentes materiais da natureza em um único conjunto de teorias. Ele fracassou. [...] A teoria das cordas tem a capacidade de demonstrar que todos os formidáveis acontecimentos do universo – da dança frenética dos quarks à valsa elegante das estrelas binárias, da bola de fogo do big-bang ao deslizar majestoso das galáxias – são reflexos de um grande princípio físico, uma equação universal. (GREENE, 2001, p. 19)

[22] As quatro forças fundamentais são, duas de curto alcance que ocorre em distâncias do tamanho do núcleo atômico chamadas de Força forte e Força fraca, e duas de longo alcance que são a Força gravitacional e a Força eletromagnética.

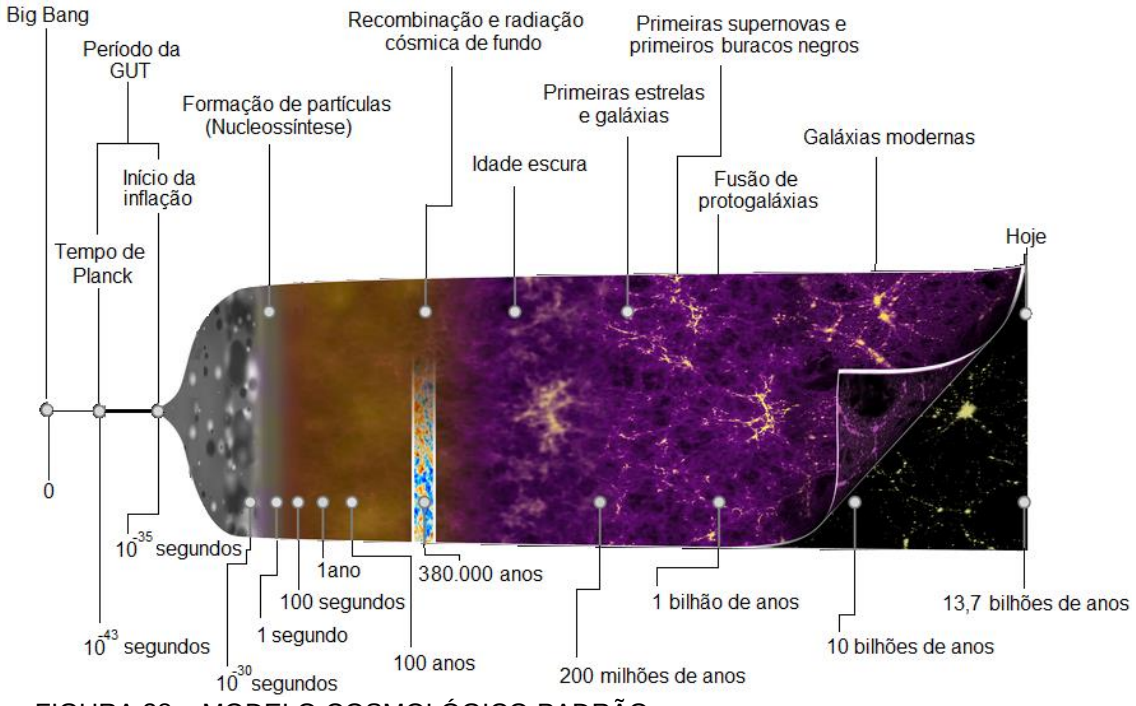

FIGURA 28 – MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO
FONTE: ALBUQUERQUE. Modificada pelo Autor (2015)

Existem muitos estudos sendo realizados acerca das Teorias das cordas e ainda é muito difícil comprovar experimentalmente suas previsões teóricas, contudo essa é uma possível teoria final (ou teoria sobre tudo).

Quando o Universo chegou a 10^{-35} segundos ocorreu outra transição de fase, a força forte se separa da força fraca e eletromagnética (ou força eletrofraca) sua temperatura era de 10^{27} K, nesse instante começa a época inflacionária, ou seja, o Universo se expande muito em um intervalo de tempo muito pequeno.

6.1 A ÉPOCA INFLACIONÁRIA

O modelo do *Big Bang* apresentava quatro problemas, o problema do horizonte (ou da isotropia) que está relacionado com a temperatura da radiação cósmica de fundo. O segundo é o problema da planaridade (ou chateza). O terceiro está relacionado com a formação das galáxias e aglomerados. E por último o problema sobre a superabundância dos monopólos magnéticos.

Diante desses problemas os modelos inflacionários começam a surgir, o primeiro modelo foi proposto por Alexei Starobinsky em 1979, não tinha como previsão resolver os problemas citados anteriormente e o início da inflação era de difícil entendimento. Posteriormente outros modelos sobre a época inflacionária foram surgindo com Alan Guth, Hawking, Starobinsky, Pi, Bardeen, Steinhardt, Turner e Mukhanov (BONOMETTO; GORINI; MOSCHELLA, 2002, p. 160).

Após ocorrer a separação da força forte e da força eletrofraca, o Universo sofreu uma expansão acelerada chamada de inflação (GRÁFICO 3). O intervalo dessa inflação durou de 10^{-35} até 10^{-32} segundos e o tamanho do Universo aumentou aproximadamente 10^{50} vezes o tamanho que tinha no início da expansão e no final desse processo as primeiras partículas elementares se formaram (quarks, elétrons, fótons, e suas antiparticulas) (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 527).

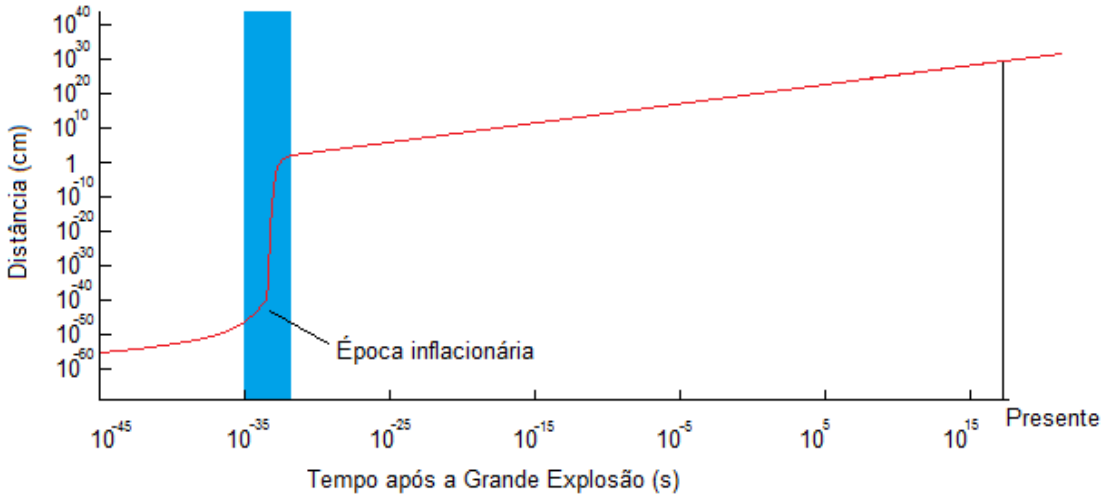

GRÁFICO 3 – ÉPOCA INFLACIONÁRIA
FONTE: COMINS; KAUFMANN III (2010, p. 529)

Mas o que pode ter provocado a inflação? Vimos que as forças fundamentais estavam juntas e conforme o Universo foi envelhecendo mudanças de fases aconteceram. A primeira mudança se teve quando a força gravitacional se separou das outras três forças fundamentais, tendo assim o período da GUT e quando a força forte se separou da eletrofraca a inflação começou. Desse modo com a implantação da inflação no modelo do *Big Bang* os quatro problemas foram resolvidos.

O problema do horizonte está relacionado em explicar como o Universo tem alto grau de homogeneidade, pois ao retrocedermos no tempo (sem que tivesse ocorrido a inflação) haveria regiões que não estariam em contato, ou seja, as regiões muito distantes uma da outra do Universo não entrariam em equilíbrio termodinâmico (não daria tempo dessas diferentes regiões se comunicarem), a menos que fizéssemos a hipótese que independentemente da região a temperatura fosse rigorosamente a mesma. Mas com a implantação da inflação esse problema acabou, pois antes de se ter a inflação todas as regiões estavam interagindo e após a expansão o Universo preservou esse alto grau de homogeneidade. E tal homogeneidade pode ser analisada devido à radiação cósmica de fundo.

A rápida expansão resolveu também o problema da planura do Universo, pois observações indicam que a curvatura do Universo é plana. Durante a inflação a taxa de expansão cresce exponencialmente, ou seja, o termo a associado ao k da equação 3, faz com que devido a expansão extremamente rápida anule qualquer outra geometria, de modo que o termo k tende para zero.

Com relação ao problema das formações das galáxias, temos que compreender como que nossa consideração do Universo ser homogêneo e isotrópico pode ter ocasionado na formação de aglomerados. Pois existem várias regiões do Universo atual que são bem diferentes das outras. Desse modo temos que explicar como que da homogeneidade surgiu a inomogeneidade. Um exemplo é o da água líquida que tem um alto grau de homogeneidade, mas ao se solidificar perde essa simetria, de modo a ter regiões diferentes uma das outras, isso ocorre devido às interações moleculares. Para o caso da formação das galáxias e aglomerados, temos essa interação como sendo a chamada instabilidade gravitacional (HORVATH [et al], 2011, p. 150-151). Essa pequena diferença que se teve da massa nas regiões, ocasionou as galáxias e aglomerados que observamos hoje.

Para o quarto problema, segundo as teorias GUTs se tem uma abundância dos monopólos magnéticos durante esse estágio da unificação dessas três forças fundamentais, mas atualmente não conseguimos detectar nenhum vestígio de monopólos magnéticos. Como temos uma expansão com crescimento extremamente rápido os monopólos se “diluíram”. Experimentos

estão sendo feitos para tentar detectá-los, mas até o momento não ocorreu a sua comprovação.

6.2 NUCLEOSSÍNTESE

Umas das questões importantes sobre o Universo consistia em saber como ocorreu o surgimento dos elementos químicos que temos conhecimento. Com os estudos sobre a física nuclear e a descoberta da fusão nuclear levaram a acreditar que o Universo em seus primórdios era extremamente quente e denso, pois após estudarem fusão em estrelas perceberam que apenas em regiões com tais propriedades poderiam formar elementos mais pesados. Portanto, nos primórdios em que o Universo era extremamente quente e denso, poderiam ter sido criados os elementos que hoje encontramos. De modo que, conforme ocorria a expansão do Universo a temperatura diminuiria ocorrendo um resfriamento, e assim os átomos como hidrogênio e hélio puderam ser formados. Em um primeiro modelo todos os elementos químicos seriam criados a partir da fusão nuclear que ocorreu no Universo primordial (nucleossíntese), mas elementos com massa de 5 a 8 são instáveis e a formação cessaria. Estudos foram feitos e chegou-se a conclusão que elementos mais pesados teriam sido criados a partir de supernovas[23]. Veremos agora como ocorreu a evolução do Universo conforme a temperatura foi diminuindo chegando até a nucleossíntese e a estimativa da quantidade de elementos formados até o final da chamada recombinação.

Vamos iniciar com temperaturas acima de 10^{15} K, nesse período existiam quarks, antiquarks, bóson X[24], gráviton (teórico), bóson de Higgs, fótons, neutrinos e antineutrinos (RISPATH, 2011). Devido à alta energia dos fótons os quarks não conseguiam se aglutinar para formar as partículas como prótons e nêutrons. A partir de 10^{13} K a formação começa a ocorrer devido à perda de energia dos fótons que é o resultado da expansão do Universo, os quarks começam a se aglutinar e a formar novas partículas como próton e nêutron.

[23] Supernovas ocorrem quando uma estrela explode aumentando seu brilho em cerca de um milhão de vezes e desse modo elementos mais pesados surgiriam.
[24] Bóson X seriam partículas que ao sofrerem o decaimento produziriam os quarks e antiquarks.

Antes dessa temperatura eles "*eram inicialmente isolados porque mares de quarks semelhantes foram recriados sob condições equivalentes em laboratório em 2001 pelo esmagamento de átomos densos colocados em curtíssimas distâncias uns dos outros.*" (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 529).

Chegando a temperatura de 10^{11} K temos um equilíbrio quase perfeito entre as partículas. O número de prótons e nêutrons eram praticamente iguais, e existia uma grande quantidade de pósitrons, elétrons, fótons, neutrinos e antineutrinos.

Com temperatura de $3\text{x}10^{10}$ K os nêutrons sofrem o processo de decaimento mais facilmente se transformando em prótons e aproximadamente nesse período se tem 38% de nêutrons e 62% de prótons (comparado ao instante em que essas partículas estavam com a mesma quantidade). Com a temperatura de 10^{10} K ocorre o desacoplamento dos neutrinos e antineutrinos, ou seja, nesse instante essas partículas não interagem tão facilmente, podendo percorrer grandes distâncias sem sofrerem interação com outras partículas e o equilíbrio térmico não ocorre mais, ou seja, os neutrinos (e antineutrinos) começam a ter temperatura diferente das demais partículas. Nesse instante se tem 76% de prótons e 24% de nêutrons. A $3\text{x}10^{9}$ K já se tem a formação de núcleos estáveis como o hélio 3 e trício. Os elétrons e pósitrons começam a se aniquilar e a energia é repassada para os fótons que ficam com 35% de temperatura maior que dos neutrinos. Aos poucos os núcleos de deutério se tornam estáveis. Quando a temperatura chegou a $3\text{x}10^{8}$ K todos os pósitrons se aniquilaram com os elétrons, ficando apenas o pequeno excesso de elétrons que existia, de modo a equilibrar as cargas com os prótons. No final dessa aniquilação os fótons adquiriram a energia e ficaram com 40% a mais de temperatura que os neutrinos. Os processos nucleares cessam, de modo a terem se formado entre 22 a 28% de núcleos de hélio e o restante de hidrogênio (prótons livres) (WEINBERG, 1980).

A nucleossíntese primordial (teve início quando o Universo tinha uma idade de 100 segundos) foi a responsável pela criação dos elementos leves que temos em grande quantidade no Universo, como por exemplo, o hélio, os outros elementos mais pesados surgiram com a nucleossíntese estelar ou com as supernovas. Próximo a $2{,}9\text{x}10^{8}$ K o Universo tinha a idade de 30 mil anos e

ocorreu o “primeiro” desacoplamento da matéria com a radiação, ou seja, a matéria começa a ter um domínio sobre a radiação (GRÁFICO 4). Antes desse tempo se tinha o domínio da radiação pelo efeito gravitacional dos fótons que era muito maior do que o da matéria (a relatividade geral constata esse efeito), mas conforme o Universo se expandiu os comprimentos de ondas dos fótons aumentaram (*redshift*) e com isso perderam energia. Chegou um momento em que a força gravitacional da matéria começou a dominar e isso fez com que a matéria pudesse se aglutinar em determinados locais (COMINS; KAUFMANN III, 2010). Depois de 380 mil anos desde a grande explosão ocorreu o “segundo” desacoplamento da radiação e originou o que conhecemos como a radiação cósmica de fundo.

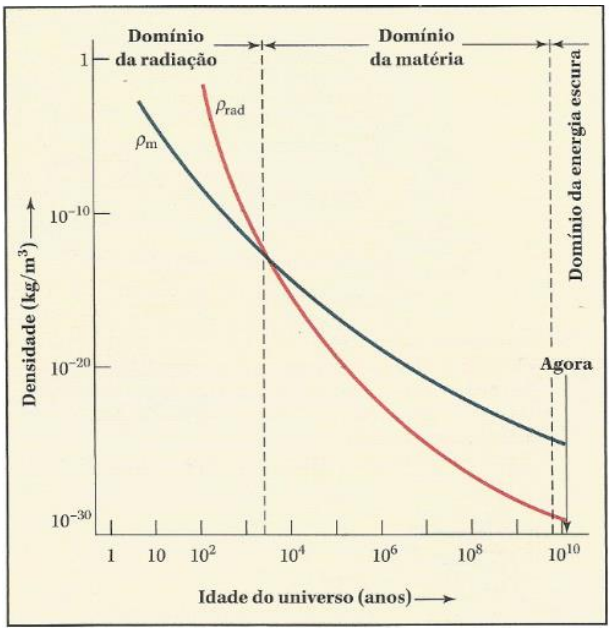

GRÁFICO 4 – PERÍODO DE DOMÍNIO DA RADIAÇÃO E DA MATÉRIA
FONTE: COMINS; KAUFMANN III, (2010, p. 531)

6.3 RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO

Essa nova transição de domínio fez surgir a radiação cósmica de fundo, vimos que a alta interação dos fótons com a matéria impedia os átomos de se formarem, ou seja, nessa época existia uma “sopa” de núcleos, elétrons e fótons colidindo constantemente impedindo que os elétrons orbitassem os núcleos, a matéria estaria no estado que conhecemos como plasma. Conforme

os fótons foram perdendo energia não conseguiam manter esse estado de plasma e os átomos puderam ser formados. Os fótons sem interação podiam então percorrer livremente pelo espaço, esse processo é conhecido como desacoplamento e ocorreu quando o Universo tinha a idade de aproximadamente 380 mil anos e a radiação cósmica de fundo que observamos são os primeiros fótons livres do Universo (FIGURA 29), "*calcularam que deve haver atualmente 400 milhões de fótons de micro-onda cósmica de fundo em cada metro cúbico do espaço*" (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 532), a temperatura que ocorreu esse desacoplamento estava em 3000 K.

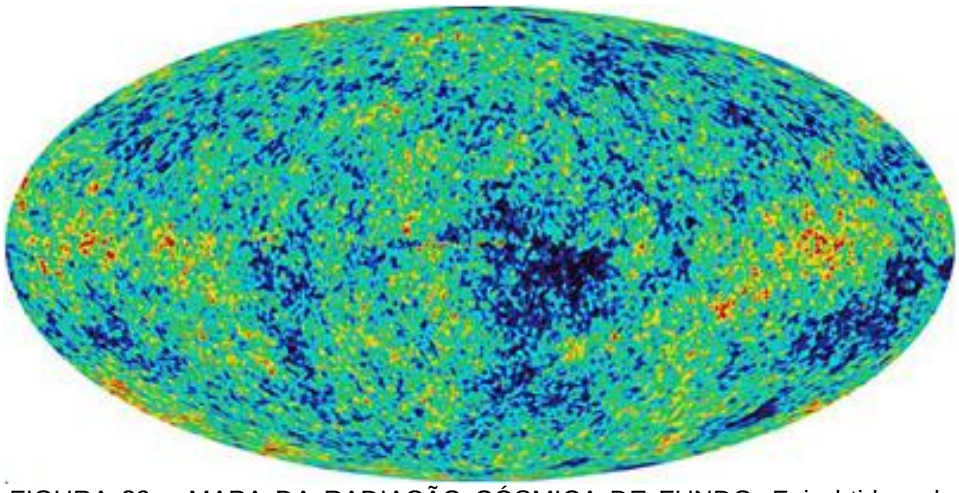

FIGURA 29 – MAPA DA RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO. Foi obtido pela sonda WMAP, as diferentes tonalidades correspondem às diferentes temperaturas. A temperatura média é de 2,73 K, tendo uma variação de 0,00003 K para regiões mais quentes ou para as mais frias.
FONTE: ROSENFELD (2005, p. 34)

Outra fase que ocorreu é a chamada recombinação e todo o processo durou 100 mil anos. Conforme os fótons perderam energia os elétrons começaram a se combinar com os núcleos para formar átomos neutros e assim ter os elementos primordiais, o hidrogênio, hélio e lítio.

6.4 IDADE ESCURA

Esse período foi caracterizado como sendo o tempo entre o desacoplamento (radiação cósmica de fundo) e a primeira explosão estelar, durante todo esse intervalo houve muito pouca luz proveniente de estrelas que se formaram e por isso é chamada de idade escura e não porque não havia luz. A formação de estrelas ocorreu quando o Universo tinha aproximadamente 200 milhões de anos e a 600 milhões de anos as galáxias começaram a se formar. Por volta do primeiro bilhão de anos os buracos negros supermassivos surgiram devido a grandes condensações de gás que existiam e com 2 bilhões de anos os aglomerados de galáxias começaram a se formar.

Têm-se observações da radiação cósmica de fundo quando o Universo tinha cerca de 380 mil anos e só depois com 1 bilhão de anos se tem as observações das galáxias individuais. Entre esse período estão ainda se obtendo informações (com observações) para explicar como ocorreu a formação dos aglomerados de galáxias e dos buracos negros. (LOEB, 2006, p. 37-43)

6.5 GEOMETRIA E MATÉRIA DO UNIVERSO

Na década de 1930 o astrônomo Fritz Zwicky, o mesmo que propôs a “hipótese da luz cansada”, fez uma grande descoberta analisando as velocidades radiais de oito galáxias do aglomerado de Coma. Cálculos indicavam que essas velocidades eram próximas a 1000 km/s concluindo que estavam muito acima do esperado e que apenas a matéria visível não explicaria o fenômeno. Para que isso pudesse ocorrer deveria existir 400 vezes mais massa do que a estimada através da matéria observada. Foi a primeira evidência da existência da matéria escura e é devido a ela que os aglomerados de galáxia são mantidos ligados gravitacionalmente (WAGA, 2005).

Outro fato curioso é sobre a velocidade de rotação das galáxias. A lei de Newton da gravitação nos diz que conforme um corpo está mais distante do outro, menor vai ser sua velocidade orbital, um exemplo é a velocidade orbital dos planetas do sistema solar que seguem essa lei (GRÁFICO 5). Mas com

relação às galáxias essa velocidade orbital é bem diferente. Estudos realizados sobre a velocidade de rotação da galáxia de Andrômeda mostraram que a velocidade permanece constante depois de certa distância do centro (GRÁFICO 6) e a possível causadora desse fenômeno seria a matéria escura que envolveria essa galáxia.

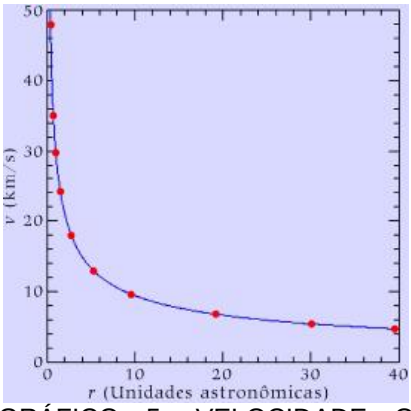

GRÁFICO 5: VELOCIDADE ORBITAL DOS PLANETAS
FONTE: ROSENFELD (2005, p. 34)

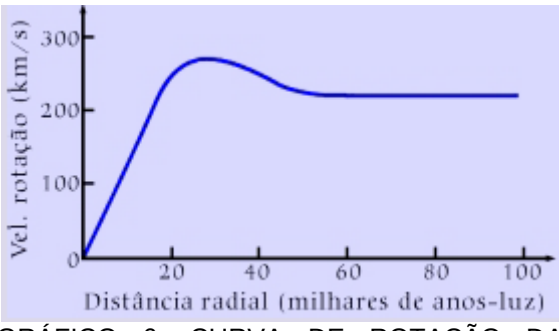

GRÁFICO 6: CURVA DE ROTAÇÃO DA GALÁXIA DE ANDRÔMEDA
FONTE: ROSENFELD (2005, p. 34)

Outro fenômeno que a matéria escura pode causar é a chamada lente gravitacional. Isso ocorre devido a um forte campo gravitacional que muda a geometria do espaço-tempo e faz com que a luz sofra um desvio (FIGURA 30). O satélite espacial Hubble observou indiretamente a forma da distribuição da matéria escura pelo espaço em uma determinada região em que ocorria o efeito de lente gravitacional (FIGURA 31).

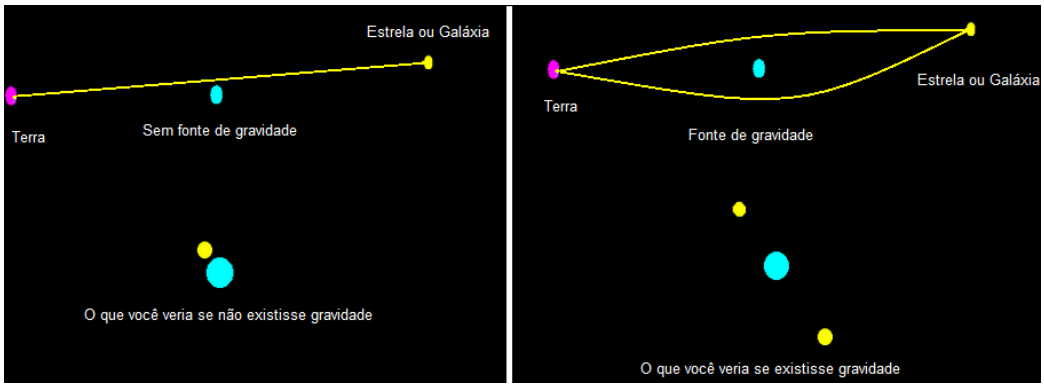

FIGURA 30 – LENTE GRAVITACIONAL
FONTE: OEI (2009). Modificado pelo autor (2015)

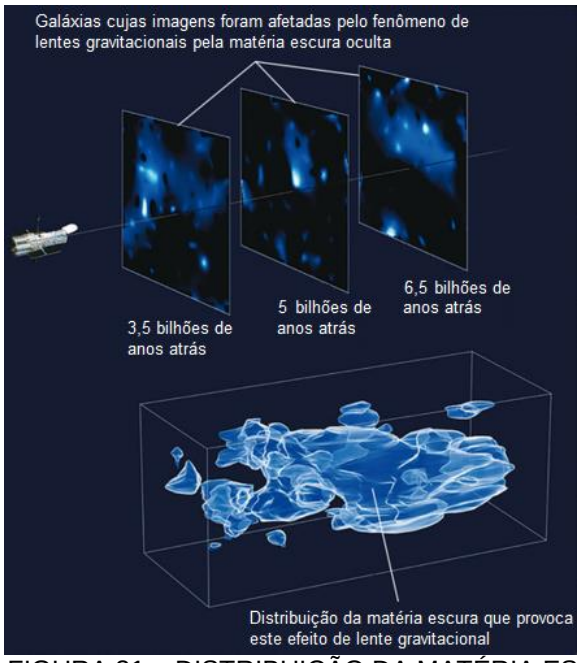

FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ESCURA
FONTE: COMINS; KAUFMANN III (2010, p. 537)

Vimos alguns exemplos sobre a matéria escura e as constatações que ela realmente existe. De toda a matéria do Universo temos conhecimento de apenas 5%, estimativas mostram que 25% são constituídas da matéria escura e os 70% que sobram é considerado como sendo a chamada energia escura (GRÁFICO 7).

Essa porcentagem é obtida devido à geometria do Universo ser considerada plana. Vimos que existem três possibilidades e atualmente tudo indica que o Universo possui geometria plana. Para saber se realmente é plana utilizamos as observações sobre a radiação cósmica de fundo.

Vamos primeiramente pensar em dois feixes de luz viajando pelas três geometrias (FIGURA 32). No Universo esférico (fechado) temos os feixes de luz viajando pelo espaço e devido a sua curvatura se encontram nos polos, um exemplo é se todas as pessoas do mundo seguissem para o norte independente de onde partissem e qual rota seguissem todos se encontrariam no polo norte. No caso da geometria hiperbólica ocorre o contrário, conforme os feixes viajam eles tendem a se afastar cada vez mais. E no caso da geometria plana os feixes ficam paralelos para sempre (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 537-538).

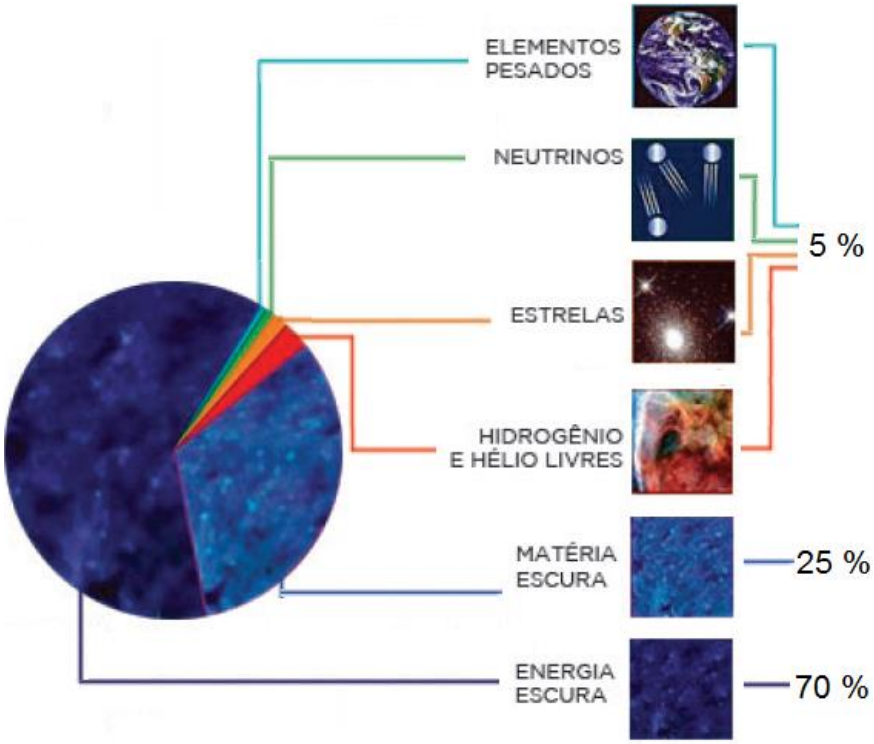

GRÁFICO 7 - QUANTIDADE DE MATÉRIA NO UNIVERSO
FONTE: ON (p. 218, 2015). Modificado pelo Autor (2015)

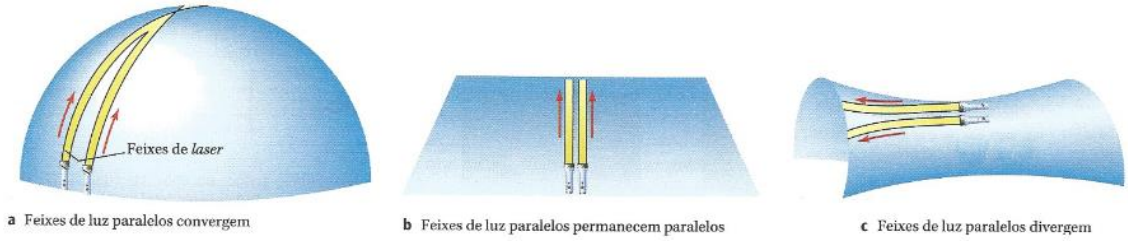

FIGURA 32 - FEIXES DE LUZ VIAJANDO EM GEOMETRIAS DIFERENTES. a) Nesse modelo os feixes saem paralelos, mas tenderam a se encontrar nos polos. b) Na geometria plana os feixes saem paralelos e nunca vão se encontrar, permaneceram paralelos para sempre. c) Na geometria hiperbólica os feixes saem paralelos, mas tenderam a se afastarem conforme viajam pelo espaço.
FONTE: COMINS; KAUFMANN III (2010, p. 537)

Desse modo podemos pensar na radiação cósmica de fundo como sendo vários feixes de luz que viajaram durante bilhões de anos até chegarem a nós, e dependendo de como esses “feixes” estão distribuídos podemos supor como é a geometria que representa nosso Universo. Observando a figura 33, no primeiro caso em um Universo esférico os feixes de luz que vêm de lados opostos de um ponto quente tendem a se curvarem, de modo a “inflar” esses pontos quentes e assim os veríamos muito maior que o normal. Se os pontos quentes nos parecem menor, isso é caracterizado como sendo um Universo hiperbólico onde os feixes de luz se afastam um do outro. Mas se os pontos parecem normais, sem distorções, isso se caracteriza como sendo um Universo plano (Ibid, p.538).

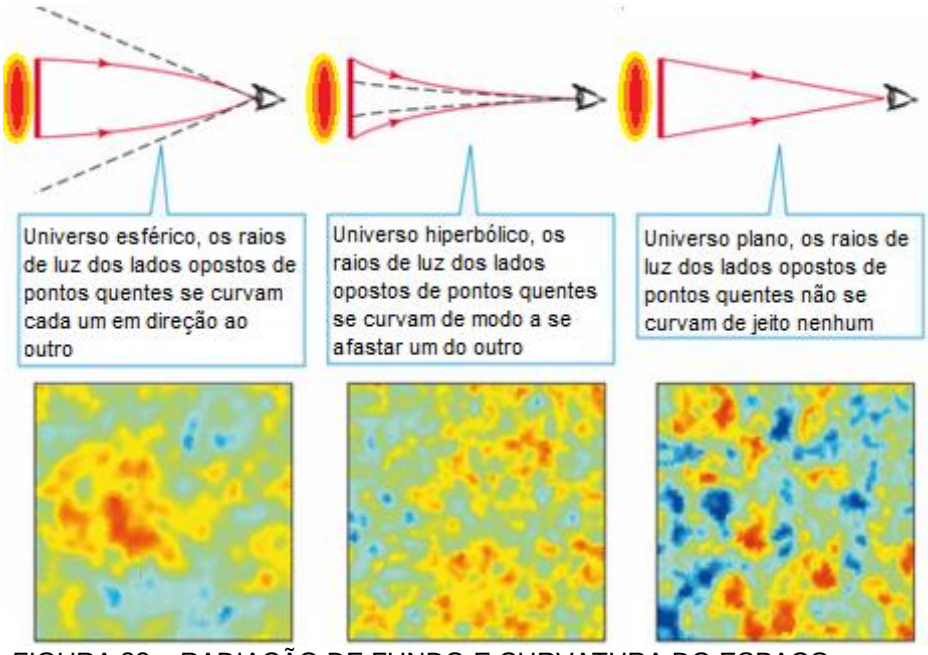

FIGURA 33 – RADIAÇÃO DE FUNDO E CURVATURA DO ESPAÇO
FONTE: COMINS; KAUFMANN III, (2010, p. 538), modificado pelo Autor (2015)

Lembrando-se da figura 30 e comparando com a figura 44, podemos perceber que devido as observações sobre a radiação cósmica de fundo o Universo tem uma tendência a ser plano e desse modo podemos estimar a porcentagem existente de cada matéria. Temos conhecimento de 30%, sendo que 25% desses não compreendemos sua natureza e os 70% faltantes é a chamada energia escura.

6.6 ENERGIA ESCURA E A EXPANSÃO ACELERADA DO UNIVERSO

Anteriormente vimos a descoberta da matéria escura e que as observações estavam indicando para um Universo plano, mas para isso ocorrer ainda falta descobrir os 70% de matéria existente e que acabou sendo chamada de energia escura. Em 2003 ocorreu a comprovação da energia escura, esse fato se deu ao analisarem supernovas de galáxias muito distantes e como sabemos, a luz ao viajar pelo espaço, e devido à expansão, ocorre o *redshift*, mas a luz delas ao passar por aglomerados de galáxias receberam uma energia extra, de modo a terem um ganho no deslocamento para o azul.

> Se a energia escura existe, então a expansão do universo está sendo acelerada [...] Em outras palavras, a intensidade do deslocamento para o azul que a luz sofreu quando se aproximava do aglomerado foi maior do que a intensidade do deslocamento para o vermelho ao deixar a vizinhança do aglomerado. (COMINS; KAUFMANN III, 2010, p. 539-540).

Pelo gráfico 8 podemos notar que a curva que melhor se ajusta aos dados obtidos das supernovas das galáxias se encontra na região em que o Universo estaria acelerando. Tais supernovas têm seu brilho diminuído muito mais do que se o Universo fosse plano expandindo com velocidade constante ou se estivesse desacelerando.

Para a energia escura ser compatível com as observações, ela deve ter as seguintes propriedades: Não emite luz, já que toda a radiação pode ser explicada pela matéria bariônica[25]; Ter pressão negativa, explicando assim a expansão acelerada do Universo; E deve ser homogênea em grandes escalas, pois se fosse diferente já haveria sido descoberto pelas observações das diferenças nas estimativas de massa dos aglomerados de galáxias. Apesar dos dados indicarem a existência da energia escura, há uma grande divergência entre dados experimentais se comparado com os teóricos. Um dos candidatos para explicar a existência da energia escura é a energia do vácuo quântico, e o valor estimado para a densidade de energia do vácuo quântico é da

[25] Matéria bariônica ou bárions é um subgrupo dos hádrons (estados ligados dos quarks e antiquarks), partículas que tem a combinação de três quarks são chamadas então de bárions, como exemplos temos os prótons e neutros (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 371)

ordem de 10^{55} vezes a ordem da densidade crítica e se o Universo seguisse esse valor teria uma idade de 10^{-10} segundos (SOUZA, 2004, p. 273-274).

Essa divergência entre a teoria e a observação poderia ser causada por alguns fatores como,

> 1) Existe uma espécie de cancelamento (ou quase cancelamento) milagroso entre a constante cosmológica nua e a densidade de energia do vácuo. 2) Existe alguma simetria ou mecanismo, que ainda não conhecemos, e que leva a um cancelamento da densidade de energia do vácuo. 3) É possível ainda que a teoria da relatividade geral seja uma teoria incompleta e não descreva adequadamente o efeito gravitacional do vácuo. (WAGA, 2000, p.171)

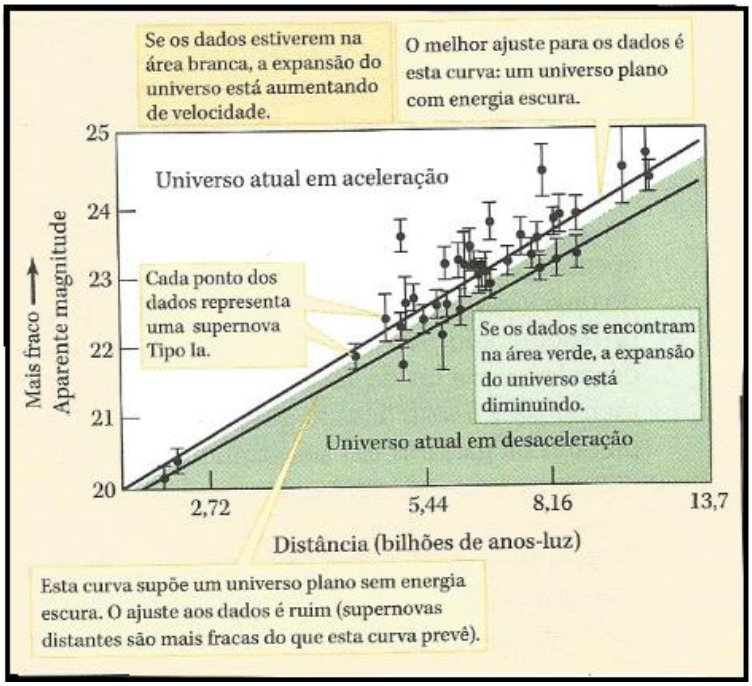

GRÁFICO 8 – DADOS DAS SUPERNOVAS DE GALÁXIA DISTANTES. Podemos notar que a melhor reta para os dados encontrados se encontra na região em que o Universo está sofrendo aceleração.
FONTE: COMINS; KAUFMANN III (2010, p. 539)

De modo que o valor da constante cosmológica se dá por dois termos, a constante cosmológica nua e pela densidade de energia no vácuo. A constante cosmológica nua seria um valor considerando que existisse apenas a força gravitacional no Universo. A densidade de energia no vácuo surge das flutuações quânticas. Ainda temos um terceiro termo que pode contribuir para a constante cosmológica que serve como um fator de correção devido a

interações adicionais que possam existir, mas que ainda não conhecemos muito bem o que causa essas interações (ABBOTT, 1988, p.109-110).

Nesse ultimo capítulo relatamos as etapas que o Universo passou, tendo nos três primeiros minutos iniciais os principais eventos que deram forma ao Universo, como a época inflacionaria e a nucleossíntese (formando os primeiros elementos). E novamente devido às observações novos horizontes para estudos surgiram, onde ainda temos muito que compreender, por exemplo, as naturezas da matéria escura e a da energia escura. Têm-se muito estudo na parte teórica, mas a experimental (de observação) não está conseguindo acompanhar esse avanço, por exemplo, as teorias GUT's, explicando como seriam os instantes iniciais do Universo, mas para termos certeza que essas teorias representariam como as três forças (força forte, a força fraca e a força eletromagnética) se comportavam como uma única força nos primórdios do Universo, observações devem ser feitas de algo parecido e isso só seria possível com um acelerador de partículas. Mas a tecnologia atual não é capaz de gerar energias tão elevadas a ponto de representar algo parecido como os primórdios do Universo. Vimos durante toda essa monografia que as mudanças sempre aconteceram, não sabemos se estamos chegando perto de descobrir como o Universo surgiu, ou se ainda falta muito para chegarmos a tal feito, mas sem duvida muito estudo deve ser feito para compreendemos a origem do Universo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante toda a monografia vimos diversos modelos propostos para a compreensão do Universo, sobre sua origem, como ocorreu sua evolução, quais as matérias componentes, etc. Começamos pelas primeiras explicações que chamamos de mitos, passamos pelos modelos gregos, pela revolução copernicana, o Universo infinito de Newton, os vórtices de Descartes, chegando aos modelos de Universos estruturados a partir da relatividade geral. Como vimos, Einstein propôs um Universo finito e estático, já De Sitter achou uma solução em que o espaço se expande infinitamente, mas sem que houvesse matéria alguma, após vários acontecimentos chegamos até o atual modelo cosmológico padrão, o *Big Bang*.

Percebemos que muito se evoluiu em relação à concepção do Universo, a forma com que nossos ancestrais explicavam o Universo difere muito da forma que explicamos hoje. As primeiras explicações para a origem do Universo foram dadas por mitos e atualmente temos essa explicação da origem sendo dada por teorias, podemos dizer que atualmente temos um mito, pois as explicações a partir de deuses foram modificadas para explicações a partir de equações, conceitos físicos e hipóteses. E tais modelos sobre o Universo que tivemos na cosmologia moderna só seguiu adiante devido às observações que ocorreram, definindo assim um possível modelo para a explicação da origem do Universo.

Mas independente da época sempre tentamos responder essa questão sobre a origem do Universo e como vimos nos mitos existiam vários modelos do Universo, podendo ser cíclico, eterno, passou a existir após determinado evento. Já nos modelos atuais vimos as mesmas ideias, Universos contendo as mesma características. Diante de tantos modelos precisávamos saber qual realmente representaria o Universo em que vivemos, e a melhor maneira de descobrir isso foi dada através das observações. Um importante instrumento inventado foi o telescópio e por meio dele conseguimos perceber que o Universo é muito maior do que se imaginava. De centro do Universo passamos a ser nada mais que um planeta na imensidão do cosmo. E vale lembrar que essa “imensidão”, o quão grande é o Universo, foi descoberto a menos de cem anos atrás.

Graças às tecnologias e as observações conseguimos definir os modelos, lembremos que as observações feitas por Galileu fizeram ruir o modelo ptolomaico e outro exemplo mais recente foi a descoberta de Penzias e Wilson da radiação cósmica de fundo, novamente diante dos dois modelos concorrentes na época, um previa essa radiação enquanto o outro não. Com as novas descobertas e questões que foram surgindo o modelo cosmológico padrão sofreu alterações como a adição da época inflacionária.

Temos muito ainda o que aprender, como por exemplo, a natureza de 95% da matéria que constituí o Universo, o problema da singularidade do Big Bang, como as quatro forças fundamentais se comportavam como uma única e o que ocorria antes do tempo de Planck. Existem outras teorias para explicar o Universo como, a teoria das cordas que já citei, onde se considera mais de quatro dimensões e para descrever o Universo se tem a formulação chamada de teorias das supercordas. Temos também os chamados Multiversos, nessa teoria se propõe que o Universo surgiu de uma inflação em uma região preexistente e que existem várias outras inflações ocorrendo (ou seja, outros Universos sendo formados). Outra é a chamada Inflação Dupla, proposta por Neil Geoffrey Turok (1958-) juntamente com Martin Bucher e Alfred Goldhaber, que propuseram um Universo seria criado dentro de outro Universo. Outro modelo de Universo é o chamado “ekpirótico”, desenvolvido por Paul Steinhardt (1952-) e colaboradores, seria uma extensão da teoria das cordas, a chamada teoria M, tentando explicar até o que ocorria antes do Big Bang (ON, 2009, p.354-360).

Existem teorias que explicam sobre o que pode ocorrer com o Universo no futuro, uma das teorias é a chamada morte térmica, nela se considera a segunda lei da termodinâmica que nos diz que em um sistema fechado a entropia só tende a aumentar, ou seja, o fluxo de calor de um corpo quente sempre vai para o corpo mais frio e não o contrário. Desse modo as estrelas estão emitindo radiação para o espaço frio de modo a entrar em equilíbrio térmico, mas como todo o espaço está se expandindo chegará um momento em que apenas radiação estará presente no Universo.

Através da análise histórica percebemos como a necessidade de aperfeiçoamento das respostas às questões mais elementares acerca do Universo levou a busca por melhor compreensão da natureza. Por vezes o

pensamento foi alterado ou modificado para que se pudessem construir respostas satisfatórias, considerando as possibilidades de cada época. A forma como se pensava o universo sofreu modificações ao longo da história e em alguns casos essas foram muito pontuais e levaram ao advento de teorias muito importantes para o entendimento do universo, por exemplo, o heliocentrismo e a teoria da relatividade geral. Com os avanços em tecnologia, os estudos em cosmologia tornaram-se mais aprimorados, exemplos disso são os modelos cosmológicos da atualidade construídos a partir de informações mais precisas, sendo possível inclusive em alguns casos a verificação de previsões teóricas, como visto no caso da radiação cósmica de fundo. Com a possibilidade de realização de medidas relacionadas ao Universo cada vez mais precisas há possibilidade de complementação do modelo atual ou quem sabe a construção de um modelo que compreenda as questões ainda não respondidas, com isso o espaço para os estudo é amplo e de muitas possibilidades. Essa reflexão nos remete a importância da compreensão dos elementos envolvidos na evolução das concepções e dos conceitos acerca do Universo, haja vista o aperfeiçoamento dos meios pelos quais as informações são obtidas e trabalhadas, dos métodos utilizados na organização dessas e da construção de teorias plausíveis.

Sem dúvida ainda há muito a ser compreendido e aperfeiçoado no que diz respeito aos modelos atuais, o que faz da cosmologia uma das ciências mais intrigantes e inspiradoras da atualidade, tornando-a de interesse não apenas de cientistas, mas da sociedade como um todo, e nesse sentido entendemos a importância do conhecimento histórico, parte na qual conhecemos e passamos a compreender um pouco mais os elementos presentes na construção das concepções sobre o Universo e na construção das teorias, assim a ciência que passa a considerar a parte histórica, a evolução dos fatos e não apenas acontecimentos isolados como se chegassem diretamente as conclusões desvinculando-as dos estudos, tentativas e alterações, fatores esses que sugerem justamente a evolução e aperfeiçoamento da mesma, facilita nossa capacidade de contextualizar os acontecimentos a fim de compreendê-los.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, Larry. **The mystery of the cosmological constant**, *Sc. Amer.* 258(5), 82-88, 1988. Disponível em: <http://neurotheory.columbia.edu/~larry/AbbottSciAm88.pdf>. Acesso em 29 de abril de 2015.

ALBUQUERQUE, Alberto. Imagens comentadas da missão Planck. Disponível em: <https://albertoalbuquerque.files.wordpress.com/2013/03/a-histc3b3ria-do-universo-do-planck.jpg>. Acesso em 24 de abril de 2015.

ASSIS, A K T; PESSOA, Osvaldo JR. **Erwin Schrodinger e o princípio de Mach**. Caderno História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 3, v. 11 n. 2, p. 131-152, 2001. Disponível em: <http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/Schrodinger-Mach.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2015.

BONDI, Hermann. **O Universo Como um Todo**: Aspectos da Cosmologia. São Paulo: Editora EDART-SÃO PAULO – LIVRARIA Editora LTDA, 1968.

BONOMETTO, Silvio; GORINI, Vittorio; MOSCHELLA, Ugo. **Modern cosmology**. Philadelphia – EUA: Institute of Physics, 2002.

COMINS, Neil F; KAUFMANN III, William J. **Descobrindo o universo**. Tradução técnica de Eduardo Neto Ferreira. 8. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2010.

COSMOS. Direção de Adrian Malone. Produção KCET e Carl Sagan Productions. Roteiro Carl Sangan e Ann Druyan. Emissora PBS, Estados Unidos. 13 episódios, total de 780 minutos, 1980.

FEYNMAN, Richard. **Sobre as leis físicas**. Editora Contraponto, Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2012.

FRANCHINI, A. S.; SEGANFREDO, Carmen. **As melhores histórias da Mitologia Nórdica**. 4ª ed. – Porto Alegre, RS: Artes e Ofícios, 2005.

GEOENSINO. **Mapas Mundi**. Disponível em: <http://www.geoensino.net/2011/10/blog-post.html> . Acesso em 25 de abril de 2015.

GLEISER, Marcelo. **A dança do universo**: dos mitos de criação ao Big Bang. 6ª reimpressão. São Paulo: companhia das Letras, 2006.

GREENE, Brian. **O Universo elegante**: Supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva. Tradução de José Viegas Filho; revisor técnico Rogério Rosenfeld – São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

HAWLEY, John F; HOLCOMB, Katherine A. **Foundations of modern cosmology**. 2° Ed. New York: Oxford University, 2005.

HORVATH, J. E. et al. **Cosmologia Física**: do micro ao macro cosmos e vice-versa. São Paulo; Livraria da Física, 2011.

LIDDLE. Andrew. **An Introduction to Modern Cosmology**. 2. Ed. Reino Unido – UK: Wiley, 2003.

LOEB, Abraham. **Cosmologia**: Idade das trevas do Universo. *Scientific American Brasil*. Ano 5, n. 55, p. 37-43, dezembro de 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O Universo**: teorias sobre sua origem e evolução. 2° Ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**: Mecânica. 4° Ed. S. Paulo – SP: Edgard Blucher, 2002.

OEI, Observatório Educativo Itinerante. **Lentes gravitacionais**, 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/gravlens.htm> . Acesso em 25 de abril de 2015.

ON, Observatório Nacional. **Cosmologia**: Da origem ao fim do Universo. Curso á distância, 9 de Março de 2015.

ON, Observatório Nacional. **Introdução a cosmologia**. Curso á distância, 10 de março de 2009.

PIAZZA, W.O. **Religiões da humanidade**. 4ª edição, 2005, editora Loyola são Paulo-SP.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das Idéias da Física**. 2. Ed – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

RISPATH, I. **Guia ilustrado Zahar astronomia**. Revisão técnica Alexandre Cherman; tradução Maria Luiza X. 3ª ed. – Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

ROSENFELD, Rogério. **A Cosmologia**. Sociedade Brasileira de Física. Vol. 6. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cosmologia.pdf>. Acesso em 24 de abril de 2015.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios**. Tradução Rosaura Eichemberg – São Paulo – SP; Companhia das Letras, 2006.

SAGAN, Carl. **Variedades da experiência científica**: Uma visão pessoal da busca por Deus; tradução Fernanda Ravagni – São Paulo; Companhia das Letras, 2008.

SOUZA. Ronaldo E. **Introdução à Cosmologia**. São Paulo: Edusp, 2004.

STANFORD. Encyclopedia of Philosophy: **Parmênides**. Disponível em: <http://plato.stanford.edu/entries/parmenides/>. Acesso em 25 de abril de 2015.

TEMPLO DE APOLO. **Pré Socráticos**: Tales de Mileto. Disponível em <http://www.templodeapolo.net/Civilizacoes/grecia/filosofia/presocraticos/filosofia_presocraticos_tales.html>. Acesso em 25 de abril de 2015.

TIPLER, Paul A; LLEWELLYN, Ralph A. **Física moderna**. Tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. 6. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2014.

WAGA, Ioav. **A Expansão do Universo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, n. 2, p. 163-175, 2000.

WAGA, Ioav. **Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o Século XXI**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, n. 2, p. 163-175, 2005.

WEINBERG, Steven. **Os Três Primeiros Minutos**: Uma Discussão Moderna sobre a Origem do Universo. Tradução de Annita Macedo. Rio de Janeiro-RJ: Guanabara Dois S.A. 1980.