

A Origem do Universo

Orfeu Bertolami e Cláudio Gomes

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto

1. Visões cosmogónicas

As ideias acerca da origem do Universo estão intimamente associadas ao estágio do conhecimento que historicamente a Humanidade alcançou. A observação do céu nocturno e o movimento aparente do Sol propiciaram as primeiras noções acerca da imensidão do Cosmos e da sua extraordinária dinâmica. Os múltiplos mitos da criação, comuns às mais diversas culturas, concernem invariavelmente sobre a separação do céu e da terra e a origem do Universo. A compreensão de que a dinâmica dos céus era distinta da que regia o mundo emprestou uma dimensão necessariamente teológica à descrição cosmogónica. Na primeira religião revelada, o Judaísmo, esta descrição adquiriu uma dimensão ética. As outras religiões reveladas seguiram o mesmo caminho e impuseram e ainda impõem, quando hegemónicas, os seus códigos éticos de forma coerciva e despótica. Naturalmente, a evolução social e científica da Humanidade transformou os modelos sociais e estes criaram códigos éticos mais justos e consentâneos com a diversidade das experiências antropológicas e, sobretudo, libertos de condicionamentos arbitrários, ilógicos, não factuais e historicamente incongruentes. A única ética consistente com o conhecimento científico e que é digna da riqueza humana é necessariamente universal, respeita incondicionalmente a vida e a sua dignidade e é socialmente justa e fundamentalmente laica.

Mas voltemos à discussão das concepções do Universo. Os primeiros modelos minimamente científicos do Universo descreviam fundamentalmente os planetas do sistema solar até então conhecidos. Podemos apontar o exemplo do modelo geocêntrico que admitiu diversas variações mas que, essencialmente, considerava a Terra como o centro do Universo, estando o Sol, os planetas e as estrelas organizados em camadas esféricas concêntricas. Uma das suas primeiras versões é atribuída ao grego Anaximandro de Mileto (cerca de 600 a.C.), o qual considerava que a Terra apresentava o aspecto de um cilindro circundado por rodas cósmicas gigantes e cheias de fogo. O Sol e a Lua correspondiam a dois furos em duas dessas rodas que permitiam o fogo escapar. Como a roda era móvel, os furos moviam-se e assim se explicava o movimento aparente do Sol e da Lua, sendo que, se por acaso fossem obstruídos, então se veria um eclipse, ou as fases lunares. Já as restantes estrelas eram furos na terceira roda que era mais próxima da Terra do que as duas anteriores.

Anaximandro foi também o primeiro pensador a introduzir a noção de princípio; e embora o Universo fosse eterno e infinito, outros mundos existiram antes do nosso e dissolveram-se na matéria primordial no decurso dos tempos dando origem a novos mundos.

A versão mais desenvolvida de geocentrismo é a do astrónomo Claudius Ptolomeu plasmada no seu livro *Almagesto* (compilação de treze volumes escritos por volta de 150 a.C.), segundo o qual a Terra ocupava a posição central em torno do qual existiam oito esferas celestes giratórias de cristal ocupadas pela Lua, Mercúrio, Vénus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, e as estrelas na esfera do firmamento. Para explicar os movimentos retrógrados dos planetas, Ptolomeu introduziu a ideia de que a trajectória planetária consistia em dois círculos percorridos com velocidades diferentes e que cada planeta descrevia um epiciclo sobre um círculo menor, centrado num ponto do círculo principal correspondente ao planeta. Ainda que este modelo fosse mais complexo que os modelos anteriores e que não descrevesse correctamente o posicionamento orbital de todos os planetas e da Lua, foi a teoria aceite por 14 séculos.

Somente no período Renascentista e com a Revolução Científica é que novas ideias foram avançadas para descrever o Universo conhecido. Nicolaus Copernicus, em 1543, recuperou a ideia de um modelo heliocêntrico proposto cerca de 1800 anos antes pelo astrónomo e matemático grego Aristarco de Samos, em que a Terra detém uma posição secundária no Universo, girando sobre si e em torno do Sol, que passara a ser considerado estrela e não planeta como até então havia sido classificado. Os restantes planetas orbitavam o Sol em órbitas circulares. Contudo, as estrelas eram pontos fixos numa última esfera: a *stellarum fixarum sphaerae immobilis*. Somente mais tarde, o astrónomo inglês Thomas Digges considerou que as estrelas não ocupavam uma esfera, mas que deviam estender-se até ao infinito. O modelo heliocêntrico foi essencial para que, posteriormente, Galileo Galilei e Isaac Newton, construíssem a estrutura básica da astronomia moderna. Todavia, o movimento circular dos planetas só foi substituído pela descrição elíptica da órbita planetária por Johannes Kepler em 1605, com base nos dados do seu mentor Tycho Brahe, o que foi comprovado com observações telescópicas por Galileu. Não obstante estes avanços científicos, a Igreja Católica opôs-se fortemente a estas teses, sustentando serem contrárias à perfeição divina, de tal modo que Galileu foi obrigado, pelo Tribunal da Santa Inquisição, a renegar os seus estudos e a visão heliocêntrica.

Outro marco importante no conhecimento humano do Universo prende-se com a utilização de técnicas espectroscópicas para observar objectos então estranhos, difusos e pouco brilhantes no céu, designados por nebulosas espirais. Assim, em 1864 e em 1888, o astrofísico William Huggins observou um espectro contínuo e algumas linhas de emissão da grande nebulosa de Andrómeda, M31. Havia muita discussão sobre estes objectos, sobre a sua composição, e se

apresentariam movimento de rotação. Entre 1916 e 1920, o astrónomo Adriaan van Maanem verificou que as nebulosas espirais apresentavam inequivocamente movimento de rotação. E em 1923 a distância até Andrómeda foi calculada pelo astrónomo norte-americano Edwin Hubble com base no método de observação de estrelas do tipo cefeides (estrelas que pulsam radialmente, variando a sua temperatura e brilho de forma periódica e bem definida, característica essa que permite determinar a sua luminosidade absoluta e, com esta, as suas distâncias com alta precisão), permitindo também concluir que este objecto deveria existir fora da Via Láctea. Posteriormente, Hubble dedicou-se à observação e sistematização deste tipo de nebulosas de acordo com a sua morfologia. E a partir de 1925, Hubble defendeu que estes objectos eram realmente galáxias independentes.

Estes marcos históricos e científicos foram a base de muitos outros, permitindo avanços significativos. Com a teoria do espaço-tempo, a Relatividade Geral, proposta por Einstein em 1915, muitos desenvolvimentos tiveram lugar. De facto, pode afirmar-se que a Cosmologia Moderna é uma decorrência da Teoria da Relatividade Geral de Einstein e diversas previsões e explicações para as observações puderam ser avançadas.

Decorridas muitas décadas, várias missões espaciais, como o COBE (*Cosmic Background Explorer*) em 1989, o WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) em 2001 e o Planck em 2009, permitiram uma compreensão aprofundada do Universo, designadamente, através do estudo dos seus constituintes e da radiação cósmica de fundo. Uma das conclusões é a que o Universo se apresenta hoje como espacialmente plano, homogéneo e isotrópico. A teoria do Big Bang, segundo a qual o Universo teve origem numa explosão do espaço-tempo há 13,8 mil milhões de anos, é o que melhor descreve a evolução do Universo dada a consistência com todas as observações até ao presente. Todavia, a origem do Big Bang, seja através de uma flutuação quântica ou da colisão de duas membranas, onde o nosso Universo existe isolado ou no seio de um Multiverso está para além do conhecimento científico do nosso tempo.

Sabemos, contudo, que depois do Big Bang, houve uma época de rápida expansão acelerada, designada por inflação cósmica, em que o Universo passa a ter uma geometria espacialmente plana. Vestígios desta época estão presentes nas diminutas flutuações (cerca de 6 partes por milhão) de temperatura na radiação cósmica de fundo. Posteriormente, o Universo passou por uma época de reaquecimento, em que houve produção de partículas que muito mais tarde se combinaram electromagneticamente para formar os átomos primordiais. As condições termodinâmicas nos primeiros minutos do Universo foram favoráveis à formação de outros núcleos atómicos e, subseqüentemente, por conta da atracção gravitacional, formaram-se as primeiras grandes estruturas do Universo, as galáxias. Por diferenciação interna sucessiva formaram-se os sistemas estelares e planetários, e por atracção gravítica as

estruturas de larga escala como os enxames de galáxias. Aos constituintes conhecidos, temos que introduzir as misteriosas matéria escura e energia escura, responsáveis por efeitos gravíticos que não são causados pela matéria observável, e pela expansão acelerada do Universo, respectivamente (Bertolami e Gomes 2017). Sobre o futuro, não há certezas: a expansão do Universo pode continuar de forma acelerada e destruir inclusivamente o espaço-tempo ou voltar a desacelerar, ou eventualmente contrair-se num «*Big Crunch*» (Grande Colapso). Estes cenários dependem do balanço entre os efeitos repulsivos inferidos através da observação da energia escura e dos efeitos atractivos do colapso gravitacional da matéria.

2. Escavando o espaço-tempo: a evolução do Universo no contexto do modelo do Big Bang

Em 1927, o padre jesuíta belga Georges Lemaître propôs o modelo do «átomo primordial» no qual que o Universo estava em expansão com base na Relatividade Geral de Einstein e no modelo evolutivo do Universo em expansão do engenheiro russo Aleksander Friedmann, tal que retrocedendo no tempo deveria ter havido uma origem. Dois anos mais tarde, as observações de Edwin Hubble mostraram que as galáxias se estavam a afastar umas relativamente às outras em ritmo progressivamente maior consoante a distância entre elas. São estes os dois pilares da teoria do Big Bang, sendo que esta designação algo jocosa devida ao astrónomo britânico Fred Hoyle que rejeitava veementemente esta hipótese e que considerou em 1948, em alternativa, a ideia de um universo estacionário (modelo este também proposto independentemente pelos astrónomos Herman Bondi e Thomas Gold). Todavia, nos seus detalhes concretos, a hipótese de Lemaître estava equivocada, pois admitia que o Universo primitivo era frio e que as observações eram compatíveis com os decaimentos radioativos dos elementos primordiais. Em 1948, George Gamow propôs alternativamente que os elementos químicos teriam sido sintetizados a partir das partículas elementares primordiais, isto é, de um Universo primordial muito quente. Esta hipótese foi confirmada pela descoberta da Radiação Cósmica de Fundo, prevista por Gamow, Ralph Alpher e Robert Hermann, e observada em 1965 pelos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson.

Assim, juntando teoria e observação, o Big Bang teve origem numa singularidade: um «ponto» de elevada densidade e altíssimas temperaturas, que começou a expandir rapidamente dando origem ao espaço-tempo. Assim, o Universo teve um início, mas não teve um centro.

Importa, pois, agora reconstituirmos a história do Universo desde o Big Bang. Após este evento, o Universo passa por uma fase de expansão acelerada designada por Inflação Cósmica, supostamente suportada por um campo escalar – o inflatão. Este processo ocorre em apenas 10^{-35} segundos após a criação do

Universo! Independentemente da geometria inicial do Universo, esta expansão torna a parte deste que nos é acessível espacialmente plana.

Seguidamente, entre 10^{-6} e uns poucos segundos, os quarks, partículas elementares, isto é, sem estrutura interna, juntaram-se em estados ligados conhecidos como hádrons e mesões. Nesta fase, já está estabelecida a assimetria bariónica, ou seja, existem mais partículas que antipartículas num excesso de 6 partículas para cada 10^{10} pares de partículas e antipartículas. Se partículas e antipartículas existissem na mesma proporção então aniquilaram-se libertando fótons.

Entre 10 e 10^3 segundos, tem lugar o processo da nucleossíntese, onde os prótons e neutrões (estados ligados de quarks) se juntam formando isótopos do hidrogénio primordial. Este, por sua vez, permite a formação de outros elementos: cerca de 23% de ^4He , de $10^{-3}\%$ de ^3He , de $10^{-3}\%$ de deutério e de $10^{-8}\%$ de ^7Li . Contudo, nesta altura, a temperatura do Universo é ainda consideravelmente alta para que se formem átomos pelo que existe um mar de núcleos, fótons e electrões.

Por volta de 380000 anos após o Big Bang, as temperaturas são mais baixas, cerca de 3000 °C, de modo a que os fótons já não estão em equilíbrio térmico com a matéria, dando-se uma última dispersão de que resulta a radiação fóssil conhecida como radiação cósmica de fundo. Por esta altura, designada por recombinação, os electrões, menos energéticos, ligam-se electromagneticamente aos núcleos formando os átomos.

As flutuações de densidade originárias da época inflacionária vão evoluindo gravitacionalmente de modo a dar origem às primeiras grandes estruturas: as galáxias. Sucessivamente, por atracção gravitacional, estas vão-se organizando em grupos: enxames e super-enxames de galáxias. Por diferenciação interna e colapso gravitacional de poeiras começam a formar-se os primeiros sistemas solares, com estrelas e mais tarde planetas, um dos quais o nosso Sistema Solar, há cerca de 4,6 mil milhões de anos. Posteriormente, os restantes elementos químicos até ao Ferro foram sintetizados no interior das estrelas, e os restantes na explosão das supernovas.

Subsequentemente as condições necessárias à existência e desenvolvimento de espécies de vida tiveram lugar no planeta Terra. Todavia, é de se esperar que noutros locais do Universo também existam condições semelhantes que possam albergar outras formas de vida.

Esta história cósmica está baseada em milhares de factos experimentais e observacionais que corroboram a sua plausibilidade. Uma das quais advém, como mencionámos, do estudo da Radiação Cósmica de Fundo que tem vindo a ser estudada pelas missões COBE, WMAP e Planck, que nos dá informação extremamente detalhada acerca dos vários parâmetros que descrevem a expansão do Universo. Por exemplo: sabemos que cerca de 68,3% do conteúdo

energético do Universo está na forma de um fluido que permeia o Universo e é responsável pela actual expansão acelerada do mesmo, a energia escura; cerca de 26,8% deve existir sob a forma de matéria escura, matéria que interage muito fracamente ou não interage de todo com a radiação e é responsável pelos efeitos gravitacionais adicionais à matéria regular; apenas 4,9% do conteúdo energético do Universo corresponde às partículas elementares de matéria que conhecemos.

A reconstrução da cronologia de eventos cósmicos após o Big Bang é um dos capítulos mais extraordinários da física do século XX. No presente século, cabe-nos completar, detalhar e dirimir as dificuldades que ainda persistem no modelo acima descrito. Por exemplo, há que desvendar a natureza da matéria escura e da energia escura; há que compatibilizar a teoria quântica com a Teoria da Relatividade Geral ou com uma teoria alternativa à gravitação de Einstein. Uma proposta para resolver esses problemas prende-se com a teoria de cordas quânticas, a qual tem implicações muito interessantes, nomeadamente, a de que o Big Bang poder não ter sido a origem dos tempos!

3. Mundos Membrana: um possível passado do *Big Bang*

A teoria do Big Bang explica, com a hipótese inflacionária, os estádios iniciais para o Universo e sua evolução. Todavia, o que deu origem ao Big Bang? Sabemos que as leis da física, tal como presentemente as conhecemos, deixam de ser válidas nas condições iniciais do Universo quando a densidade de energia, temperatura e pressão são elevadíssimas. Em particular, Stephen Hawking e Roger Penrose mostraram nos anos 1960 que a Teoria da Relatividade Geral apresenta intrinsecamente “singularidades”, pontos onde as grandezas físicas divergem e as equações de campo de Einstein não são válidas. Estes teoremas de singularidade sugerem que a Relatividade Geral tem que ser estendida para uma teoria da gravitação quântica para superar o problema das singularidades.

Algumas hipóteses têm sido consideradas para resolver esta aparente incompatibilidade da teoria de Einstein com a Mecânica Quântica, nomeadamente, a teoria de cordas quânticas na sua versão mais geral, a teoria M, ou a gravidade quântica em «loops» («*loop quantum gravity*»). Tentar harmonizar estas duas teorias tem sido um desafio desde os anos 1960. Uma das primeiras propostas foi desenvolvida pelo físico norte-americano Bryce DeWitt (e muito divulgada por John Wheeler) que culminou com a chamada equação quântica da gravitação, ou equação de Wheeler-DeWitt, que tem como incógnita a função de onda do Universo. Esta equação é análoga à de Schrödinger da Mecânica Quântica, mas tem por base a interpretação de 1957 de «Muitos Mundos» da Mecânica Quântica do norte-americano Hugh Everett III.

Como decorrência desta proposta, em 1983, Stephen Hawking em colaboração com o norte-americano John Hartle iniciaram um programa sobre a origem dos tempos conhecido por cosmologia quântica. Uma das ideias é que a função de onda descreve um espaço-tempo sem fronteira espacial («*no boundary proposal*»). Assim, quando retrocedemos no tempo até ao instante inicial, a nossa noção de tempo deixa de fazer sentido, e o tempo é apenas mais uma dimensão do tipo espacial. Para entendermos isto, podemos imaginar alguém que vai ao Pólo Norte: segue sempre para norte, mas ao atingir aquele ponto, o sentido Norte não tem mais significado. De modo análogo, temos a noção de tempo a deixar de fazer sentido, e a singularidade inicial é evitada. Isto dá lugar a uma geometria como ilustrada na Fig. n.º 1.

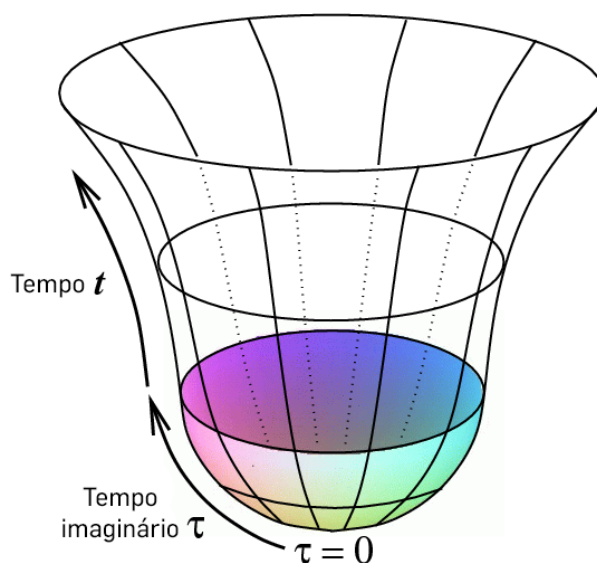


Fig 1. Representação em três dimensões do modelo da não-fronteira de Hartle-Hawking («*no boundary proposal*»). A base corresponde a uma semiesfera quadridimensional e a estrutura que apresenta o tempo como uma direcção distinta das espaciais correspondente a um Universo em expansão (Kiefer e Sandhoefer, 2008, Bertolami e Gomes, 2018).

Outra possibilidade é que o Universo pode ter sido criado por meio de uma enorme flutuação quântica do vazio, como na proposta do físico norte-americano Edward Tryon, em 1973. Ideias semelhantes referentes ao «tunelamento» a partir do «vácuo» foram também desenvolvidas matematicamente pelo físico russo-norte-americano Alexander Vilenkin em 1984.

Regressando à discussão da cosmologia quântica, importa chamar a atenção que este cenário corresponde a uma grande simplificação da gravitação quântica, o que permite uma análise mais aplicada a muitas situações físicas de interesse. Uma destas corresponde ao enigma da constante cosmológica, cujo valor observado é 10^{120} ordens de grandeza menor do que o previsto pela Teoria Quântica de Campos. Este é um dos problemas mais desconcertantes da física contemporânea.

Na teoria de supercordas, existem propostas explicativas para a origem do Universo, designadamente, o Universo poderia ter-se iniciado a partir de um gás de supercordas o que definiria o número de dimensões do espaço que, com o tempo, se expandem. Várias propostas foram sugeridas como, por exemplo, o modelo do Pré-Big Bang e o modelo Ekpirótico.

Em geral, a teoria de cordas prevê a existência de uma partícula escalar, o dilatão, que determina as propriedades do espaço-tempo, adicionalmente ao gravitão, o quanta da gravitação. No modelo do Pré-Big Bang, desenvolvido pelos físicos italianos Maurizio Gasperini e Gabriele Veneziano em 1993, existe um processo inflacionário anterior ao Big Bang que conduz a uma transição para o Universo conhecido graças ao estado dinamicamente não trivial do dilatão. Todavia, este modelo padece de dificuldades porque exige um ajuste muito preciso de parâmetros e a própria transição para o Universo actual pode não ocorrer da forma pretendida.

No modelo Ekpirótico, inspirado num limite da teoria M, assume-se existirem duas membranas quadridimensionais imersas num espaço-tempo pentadimensional, sendo que o Universo observável corresponde a uma das membranas, e a outra é-nos inacessível. O espaço-tempo inicialmente tem onze dimensões, característica da teoria M; seis dessas dimensões mantêm-se compactas e muito pequenas e conseqüentemente não são observadas directamente; as restantes quatro dimensões espaciais e uma temporal expandem-se. Em 1998, Andre Lukas, Burt Ovrut e Daniel Waldram consideraram que a distância entre estas duas membranas poderia evoluir temporalmente. Esta hipótese levou a que Burt Ovrut, Paul Steinhardt, Neil Turok e Justin Khoury, em 2001, concebessem um modelo em que uma dessas membranas poderia emitir uma terceira membrana que colidiria com a outra membrana, cuja conflagração conseqüente, «Ekpirosis» em grego, originaria um proto-Universo que rapidamente evoluiria para um Universo muito semelhante ao nosso após a inflação cósmica. Assim, o Big Bang corresponderia a esta colisão entre membranas. A evolução do Universo, neste modelo, segue muito proximamente o da teoria do Big Bang na explicação da formação de estruturas com base na flutuação de densidade de energia resultantes daquela explosão. Todavia, existe uma diferença entre os dois modelos no que respeita ao fim do Universo, pois, no modelo Ekpirótico, o processo de colisão de membranas poderia ocorrer novamente, dando origem a um novo Big Bang, e continuar ciclicamente.

A ideia de Universos cíclicos já havia sido explorada nos anos 1920 e 1930, mas admitiam uma sucessão de ciclos progressivamente mais longos de contrações e expansões, ou seja, no limite, «*Big Crunches*» e «*Big Bangs*». Ora, retrocedendo no tempo, haveria seguramente um ponto de origem dos tempos, o que exigiria uma outra explicação para este instante, pelo que esta ideia não era completamente consistente. Todavia, o Universo cíclico no modelo Ekpirótico

acima descrito não apresenta estes problemas. Pelo contrário, este modelo é bastante elegante pois com recurso a apenas um campo escalar, que representa a distância entre as duas membranas, resolve o problema da ignição do Big Bang, evita a singularidade inicial, oferecendo um mecanismo para a geração das flutuações de densidade e para a expansão acelerada do Universo actualmente. Tem a virtude de ser baseada na teoria M, embora se possa criticar que esta teoria apresenta dificuldades no seu tratamento matemático, o que pode impossibilitar a previsão de assinaturas observacionais. Todavia, os proponentes do modelo Ekpirótico advogam que a ideia pode ser testada através da missão espacial eLISA (*extended Laser Interferometric Satellite Array*) com a (não) observação de ondas gravitacionais primordiais, pois aquele modelo não prevê produção destas ondas devido ao processo de colisão entre membranas ser muito lento. Este será seguramente um ponto importante na confirmação ou exclusão deste modelo.

A teoria de cordas é, de facto, prolífica em cenários algo exóticos. Inclusive, outra das possibilidades tem que ver com a ideia de Multiverso, ou seja, o nosso Universo ser apenas um entre muitos outros, os quais até podem interagir entre si gravitacionalmente.

4. O Multiverso

Estudos no contexto da teoria de supercordas quânticas sugerem que o nosso Universo é um entre muitos outros. Na verdade, supõe-se que existem cerca de 10^{500} universos com propriedades físicas distintas entre si, formando uma superestrutura, o Multiverso.

Importa também distinguir entre Multiverso e universos paralelos. O primeiro conceito refere-se à multiplicidade de universos, ou mínimos locais no espaço dos múltiplos campos da teoria de supercordas, e o segundo à hipótese, «Muitos Mundos» discutida acima, de que existem universos semelhantes ao nosso com diferenças entre si de modo a acomodar potenciais estados associados às transições quânticas. Em 2011, Raphael Bousso e Leonard Susskind defenderam a ideia de que o Multiverso era a concretização da proposta «Muitos Mundos» da Mecânica Quântica. Pode-se, todavia, apontar dificuldades, devido à presença de efeitos não lineares, relativamente a esta associação (Bertolami e Herdeiro, 2013).

Mas o cenário de Multiverso é interessante também por outros motivos. Em geral, assume-se que cada universo não interage com os restantes. Contudo, um dos autores deste texto, Orfeu Bertolami, propôs em 2008 um Princípio da Curvatura que descrevesse a dinâmica de interacção gravitacional entre dois universos que levaria a que o valor da constante cosmológica de um fosse extremamente pequeno à custa do aumento do seu valor no outro universo. Versões quânticas deste cenário foram desenvolvidas posteriormente.

Em qualquer destes cenários, a ideia de Multiverso pode apresentar alternativas para os problemas do modelo do Big Bang, porém estas soluções só fazem sentido se derem origem a implicações que possam ser testadas observacionalmente.

5. Uma responsabilidade cósmica?

Vimos acima que desde o início da Humanidade, as ideias sobre a origem do mundo e a religião estiveram ligadas. O avanço da ciência e da tecnologia substituiu naturalmente as concepções dogmáticas de natureza ideológica religiosa por uma visão fundamentalmente alicerçada na evolução científica da Humanidade.

Mas vivendo nós num mundo em que a ciência, em particular a cosmologia, oferece respostas a muitos dos mistérios do Universo com base em teorias testáveis, poderemos desenvolver uma «ética cósmica» associada a valores essencialmente humanistas? Possivelmente, a resposta mais honesta seja a negativa. Ao longo da história da humanidade as descobertas são, via de regra, motivadas com fins de sobrevivência e pela curiosidade humana e não por impulsos humanistas ou antropocêntricos. De facto, não faz sentido perguntar-se sobre as implicações éticas da investigação do microcosmo e do macrocosmo, ainda que as leis que descrevem a dinâmica às escalas que nos são mais familiares sejam um subconjunto específico das leis mais gerais. Todavia, a Cosmologia oferece-nos uma visão de quão modesta é a nossa condição no seio de um Universo que, para fins práticos, é infinito. Assim, dada a imensidão do Cosmos e a universalidade das leis da física, parece-nos lógico pensar que a vida seja extremamente abundante no Universo. Esta convicção realça o papel muito particular e único da nossa espécie e reforça a nossa responsabilidade para com os todos os seres vivos terrestres tão dependentes que são das condições físicas e químicas específicas do Sistema Terrestre (o conjunto de todos o processos e interações que têm lugar na biosfera, na geosfera, na atmosfera, na hidrosfera, na criosfera e na litosfera superior). Na realidade, o Big Bang criou apenas as condições espaço-temporais para a nossa existência, contudo, a vida exige condições mais específicas que envolvem a assimetria bariónica (dominância da matéria sobre a antimatéria), valores relativos adequados das constantes fundamentais (essencialmente, a velocidade da luz, a constante de Planck, a constante de Boltzmann e da gravitação universal de Newton) e das constantes de acoplamento das quatro interações fundamentais da Natureza, e a taxa de expansão do Universo ao longo da sua história nem exageradamente acelerada nem demasiado lenta, o que levaria a uma destruição do tecido do espaço-tempo ou ao colapso de toda a matéria do Cosmos. Estas condições, e outras de natureza físico-químicas, indicam que o surgimento da vida requer uma conjugação de factores que só um Universo em evolução e suficientemente grande para que no seu seio todas as condições, por

mais específicas que estas sejam, pode assegurar. Na verdade a possibilidade da existência de múltiplos universos torna o aparecimento da vida uma certeza absoluta: de todos os universos possíveis, o nosso é o que obviamente tem as condições adequadas. Destarte, a espécie humana tem uma responsabilidade em assegurar a manutenção das condições de equilíbrio que permitem a existência e continuidade de vida no planeta Terra. De facto, na sua obra *La crise de la culture*, pela filósofa Hannah Arendt defendeu em 1972 que estas responsabilidades deveriam também ser consideradas aquando da conquista do Espaço pela Humanidade.

Assim, parece-nos lógico estender os pontos de vista do texto de Hannah Arendt para o contexto da nossa discussão. Neste sentido, no desenvolvimento científico da cosmologia e no eventual processo de expansão da Humanidade para o Espaço, importa respeitar a integridade dos meios ambiente a encontrar (evitar a sobreexploração dos recursos naturais encontrados e não alterar as suas condições prístinas), e, naturalmente, não interferir no desenvolvimento de outras formas de vida, sensientes ou não.

Não seria completamente honesto não mencionar que os avanços científicos e tecnológicos também podem alterar consideravelmente o Sistema Terrestre, tornando-o potencialmente insustentável para a continuidade da Humanidade. Por isso, julgamos ser imperativo que aos avanços científicos se junte uma ética de respeito pela Humanidade e todos os seres vivos. Para tal, julgamos que quatro pontos devem ser considerados:

1. A coesão da civilização humana só é eticamente possível com a resolução das injustiças sociais e da pobreza material e moral;
2. Os princípios civilizacionais mais universais e consensuais são incompatíveis com o dogmatismo do fundamentalismo religioso e político. A ciência insere-se naturalmente nas correntes mais universais de uma cultura de igualdade de direitos e responsabilidades, de solidariedade, de tolerância e de liberdade;
3. O declínio da importância da educação e da cultura em confronto com a volatilidade dos valores da riqueza e do consumo conduz a um perigoso deslizar dos padrões civilizacionais dando origem à intolerância e ao sectarismo.
4. A visão estritamente economicista e tecnocrática do planeta levou-nos ao Antropoceno e à ameaça de não sermos capazes de garantir as condições de sustentabilidade da Humanidade. Neste sentido, parece-nos pertinente invocar ideias generosas que unem o conhecimento científico às propostas que procuram estabelecer o equilíbrio com as condições de sustentabilidade do planeta enquanto casa comum da Humanidade. Na verdade, a existência de um projecto que visa construir um código jurídico compatível com os conhecimentos científicos acerca do Sistema Terrestre (Steffen *et al.*, 2015; Bertolami e Francisco, 2018) parece-nos particularmente relevante (Magalhães *et al.*, 2018).

Os quatro princípios enunciados acima parecem ser suficientemente consensuais e universais para nos guiar colectivamente até que os avanços científicos, sociais e tecnológicos nos permitam estender a ocupação humana para além do planeta Terra. A cosmologia ensina-nos quão modesto é o papel que desempenhamos na ordem geral das coisas, mas por outro lado também nos coloca como parte integrante de um belo e gigantesco mosaico.

6. Conclusões

A Humanidade sempre se indagou acerca das questões mais essenciais: quem somos, de onde viemos, para onde vamos? Inicialmente, as perguntas associadas à origem da vida, e à origem do universo tiveram explicações mitológicas e religiosas. Foi só no século XX que foi possível entender cientificamente a origem do espaço-tempo, por meio do modelo do Big Bang. Contudo, cenários no contexto da teoria de cordas e das membranas foram desenvolvidos nos quais o Big Bang pode não ter sido a origem dos tempos, e possibilidades como o modelo Ekpirótico ou o Multiverso foram avançadas. Este último também oferece uma explicação imediata para o problema da origem da vida: em incontáveis universos possíveis, com condições completamente distintas, o nosso corresponde ao que tem as necessárias e compatíveis com a existência de vida. Assim, o chamado Princípio Antrópico, que, na sua versão mais forte, afirma que o Universo tem necessariamente de abrigar vida, é consequência de um cenário científico mais abrangente e pode ser dispensado enquanto hipótese adicional ao modelo do Big Bang.

Por meio de teorias e observações, a descrição científica da evolução do Universo é bastante robusta. Existem naturalmente, inúmeros problemas conceptuais e técnicos por resolver e as observações são os guias fundamentais neste trabalho. Somente através do desenvolvimento das teorias científicas testáveis através da observação e dos avanços tecnológicos levados até aos seus limites poderemos ter mais respostas aos mistérios cósmicos.

Leituras recomendadas

ADE, Peter A.R., et. Al, (Planck collaboration), Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters, *Astronomy & Astrophysics* 594, 2016, A13 (-1-63). doi:10.1051/0004-6361/201525830.

ARENDR, Hannah, *La crise de la culture*, Paris, Gallimard, 1972.

BERTOLAMI, Orfeu, *O Livro das Escolhas Cósmicas*, Ed. Gradiva, 2006.

BERTOLAMI, Orfeu, A Curvature Principle for the interaction between universes, *General Relativity and Gravitation* 40, 2008, pp. 1891-1898. doi:10.1007/s10714-008-0608-6.

BERTOLAMI, Orfeu, Princípios Antrópicos e o Multiverso, 2009 (<http://web.ist.utl.pt/orfeu.bertolami/Multiverso.pdf>).

BERTOLAMI, Orfeu, Cosmological thinking: cultural heritage and challenge, *arXiv:1001.4196 [physics.pop-ph]*, 2010.

BERTOLAMI, Orfeu, Digging down the past, *arXiv:1110.4528 [physics.hist-ph]*, 2011.

BERTOLAMI, Orfeu, HERDEIRO, Victor, Non-linearities in the quantum multiverse, *International Journal of Modern Physics D* 22, 2013, pp. 1350068 (-1-6), [10.1142/S0218271813500685](https://doi.org/10.1142/S0218271813500685).

BERTOLAMI, Orfeu, «O Big Bang: a origem do Universo», in *Do Big Bang ao Homem*, Porto, U. Porto Edições, 2016.

BERTOLAMI, Orfeu, PÁRAMOS, Jorge, *Seis Breves Apontamentos de Cosmologia Contemporânea*, Porto, U. Porto Edições, 2016.

BERTOLAMI, Orfeu, GOMES, Cláudio, Energia Escura, *Rev. Ciência Elem.*, V5(4):065, [doi:10.24927/rce2017.065](https://doi.org/10.24927/rce2017.065).

BERTOLAMI, Orfeu, GOMES, Cláudio, Matéria Escura, *Rev. Ciência Elem.*, V5(4):064, [doi:10.24927/rce2017.064](https://doi.org/10.24927/rce2017.064).

BERTOLAMI, Orfeu, GOMES, Cláudio, Stephen Hawking e a sua contribuição para a física teórica, *Rev. Ciência Elem.*, V6(2):044, [doi:10.24927/rce2018.044](https://doi.org/10.24927/rce2018.044).

BERTOLAMI, Orfeu, Utopia: Utopian and Scientific, 2018 (https://web.ist.utl.pt/orfeu.bertolami/Bertolami_Utopia_2018.pdf).

BERTOLAMI, Orfeu, FRANCISCO, Frederico, A physical framework for the Earth System, the Anthropocene Equation and the Great Acceleration, *Global Planet. Change* 169, 2018, pp. 66-69. [doi:10.1016/j.gloplacha.2018.07.006](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.006).

BOUSSO, Raphael, SUSSKIND, Leonard, The Multiverse Interpretation of Quantum Mechanics, *Physical Review D* 85, 2012, pp. 045007(-1-22). [doi:10.1103/PhysRevD.85.045007](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.85.045007).

GASPERINI, Maurizio, VENEZIANO, Gabriele, The Pre-Big Bang Scenario in String Cosmology, *Physics Reports* 373, 2003, 1-212. [doi:10.1016/S0370-1573\(02\)00389-7](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(02)00389-7).

HARTLE, James B., HAWKING, Stephen W., Wave function of the Universe, *Physical Review D* 28, 1983, pp. 2960-2975. [doi:10.1103/PhysRevD.28.2960](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.28.2960).

KHOURY, Justin, OVRUT, Burt A., STEINHARDT, Paul J., TUROK, Niel, The Ekpyrotic Universe: Colliding Branes and the Origin of the Hot Big Bang, *Physical Review D* 64, 2001, pp. 123522(-1-24). [doi:10.1103/PhysRevD.64.123522](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.64.123522).

KIEFER, Claus, SANDHOEFER, Barbara, Quantum Cosmology, *arXiv:0804.0672 [gr-qc]*, 2008.

LUKAS, André, OVRUT, Burt A., WALDRAM, Daniel, Heterotic M-Theory Vacua with Five-Branes, *Fortschritte der Physik* 48, 2000, pp. 167-170. [doi:10.1002/\(SICI\)1521-3978\(20001\)48:1/3<167::AID-PROP167>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3978(20001)48:1/3<167::AID-PROP167>3.0.CO;2-O).

MAGALHÃES, Paulo, STEFFEN, Will, BOSSELMANN, Klaus, ARAGÃO, Alexandra, SOROMENHO-MARQUES, Viriato, *The Safe Operating Space Treaty: A New Approach*

to Managing Our Use of the Earth System, Newcastle upon Tyne, Cambridge Scholars Publishing, 2016, (<http://www.commonhomeofhumanity.org>).

STEFFEN, W, et al, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science* 347, Issue 6223, 2015, pp. 1259855 (-1-10). doi:10.1126/science.1259855.

TRYON, Edward P., Is the Universe a Vacuum Fluctuation?, *Nature* 246, 1973, pp. 396–397. doi:10.1038/246396a0.