
Princípios Antrópicos e o Multiverso

Orfeu Bertolami
Professor Associado com Agregação
Instituto Superior Técnico, Departamento de Física
e
Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear
Av. Rovisco Pais
1049-001 Lisboa
[orfeu@cosmos.ist.utl.pt]

Resumo

Estudos recentes realizados no contexto de teorias de unificação das forças fundamentais da Natureza, como a teoria das supercordas quânticas, sugerem que o nosso universo é um elemento num vasto conjunto de cerca de 10^{500} universos possíveis, o *multiverso*. As características físicas destes universos podem ser completamente distintas entre si. Se por um lado, esta multiplicidade é bem vinda, pois resolve naturalmente a questão relacionada com a especificidade das condições necessárias para que um universo possa abrigar a vida, ela coloca por outro, o problema do critério de escolha do nosso universo dentre todos os possíveis.

Descritores: Multiverso, Princípios Antrópicos

Abstract

Recent studies carried out in the context of unified theories of the fundamental interactions of nature, such as superstring theory, suggest that our universe is a single element in a huge set of about 10^{500} possible universes, the multiverse. The physical features of these universes can be vastly different from each other. This multiplicity is an interesting feature as it allows for a

solution for the issue of the quite specific requirements a universe must be equipped with to shelter life. However, it poses on the other hand, the problem of the selection criteria for the choice of our universe among all possible ones.

Keywords: Multiverse, Anthropic Principles

Cosmologia, ciência do Universo

O pensamento de natureza cosmológica é comum a todas as grandes civilizações humanas [1,2]. Em certa medida, a cosmologia faz parte da cultura moderna [2,3] e poucos questionariam a necessidade de financiar a investigação científica nesta ciência que tem como objectivo estudar o Universo em larga escala [4]. Do ponto de vista científico, a cosmologia moderna teve início em 1917, quando Einstein considerou o problema do espaço-tempo ou do Universo como um todo, como uma aplicação da sua Teoria da Relatividade Geral formulada em 1915. Neste estudo pioneiro, Einstein considerou o Universo como sendo homogéneo, isotrópico e estático. Esta última propriedade foi obtida através da introdução dum termo adicional às equações de campo da Relatividade Geral, a constante cosmológica.

Estudos teóricos subsequentes que sugeriam uma alternativa evolutiva para a história do Universo foram confirmados pela descoberta da expansão do Universo pelo astrónomo norte-americano Edwin Hubble em 1929. Desde então, a cosmologia evolutiva desenvolveu-se consideravelmente e impôs-se como o paradigma que melhor harmoniza as observações. Segundo este modelo, frequentemente referido como modelo do “Big Bang”, o Universo teve origem numa explosão do espaço-tempo que aconteceu há cerca de 13,7 mil milhões de anos.

Até há cerca de duas décadas acreditava-se que o Universo era constituído essencialmente pelas partículas elementares conhecidas. Contudo, há fortíssimas evidências de que a dinâmica e a formação das grandes estruturas do Universo, galáxias, enxames de galáxias e

super-enxames de galáxias, só é possível devido a presença de 10 a 15 vezes mais matéria do que a que pode ser observada em todos os comprimentos de onda do espectro electromagnético. Por outras palavras, a formação de estruturas no Universo, requer a existência de matéria que não se manifesta electromagneticamente, a *matéria escura*. A natureza e as propriedades desta matéria escura são um dos enigmas mais fundamentais da cosmologia moderna.

Mas não é este o único grande mistério. A partir de 1998, evidências oriundas das observações de explosões muito distantes de estrelas no estágio final da evolução estelar, as Supernovas, vêm sugerindo que a expansão do Universo é, na verdade, cada vez mais rápida! Este facto pode ser atribuído à constante cosmológica introduzida em 1917 por Einstein, como já mencionado acima, e que implica que o Universo é preenchido por uma ténue distribuição de energia constante que permeia todo o Universo, mas que não se manifesta luminosamente e, que por conseguinte, é designada por *energia escura*. Esta explicação, atraente pela sua simplicidade, subentende no entanto, um facto paradoxal, nomeadamente que o valor estimado desta constante obtido no contexto das teorias de unificação das interacções fundamentais é pelo menos 52 ordens de grandeza maior que o valor observado! Esta discrepância é um dos problemas mais perturbantes da física contemporânea [5]. As observações também sugerem que a energia escura é o constituinte dominante do Universo e que contribui com mais de 70% da energia total! A expansão acelerada do Universo pode no entanto, ser alternativamente explicada como devida a partículas elementares desconhecidas [6] com propriedades algo especiais ou a matéria com propriedades algo exóticas e que está intimamente associada à matéria escura [7].

Assim, no início do século XXI, somos confrontados com uma visão do Universo na qual a natureza de cerca de 95% da sua energia é-nos desconhecida estando na forma de matéria escura e energia escura. Acredita-se que só através da integração do conhecimento advindo da cosmologia e da física das partículas elementares é que esses mistérios poderão ser melhor compreendidos.

Entre as muitas teorias que procuram generalizar e fazer sentido do conhecimento presente sobre o Universo, a teoria das supercordas quânticas, é a que presentemente reúne mais hipóteses de apresentar respostas às questões mais candentes da física contemporânea. Dentre estas encontram-se os problemas da unificação das interações fundamentais da Natureza e o da harmonização da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, mencionada acima, com a Mecânica Quântica, as duas teorias físicas mais importantes do século XX (para discussões ver as referências [1] e [8]).

Um dos aspectos mais surpreendentes das teorias das supercordas quânticas refere-se ao facto dela admitir uma multiplicidade simplesmente surpreendente de universos possíveis. Estima-se que 10^{500} universos com propriedades físicas que podem diferir consideravelmente entre si. Naturalmente, o *multiverso* admite universos compatíveis com a vida (e nós somos uma demonstração deste facto!).

Aqui há que se distinguir dois aspectos distintos do problema em discussão. O aparecimento do vida no nosso Universo e o aparecimento da vida no contexto do multiverso composto por universos com propriedades físicas completamente arbitrárias e distintas entre si. Apesar da especificidade das condições necessárias ao aparecimento da vida, para a primeira questão, parece haver pouca margem para dúvida relativamente à resposta: a vida no nosso Universo deve ser abundante e um acontecimento generalizado dada a plasticidade das suas manifestações (pelo menos é o que observamos na Terra) e a vastidão do nosso Universo e das multiplicidade de condições que abriga. Relativamente à segunda questão, a problemática é completamente distinta, pois refere-se a universos no seio dos quais as leis da física, e consequentemente da química, podem ser completamente diferentes entre si. Nas secções que se seguem discutiremos estes dois aspectos do problema. Na primeira situação apresentaremos três possíveis definições para a vida e, em linhas muito gerais, o estágio do actual do conhecimento. No que se refere à segunda questão, discutiremos o Princípio Antrópico e como este sugere que a compatibilidade com o aparecimento da vida deve ser usado como critério de escolha de universos no multiverso.

Considerações sobre a origem da vida

Desde há muito são conhecidos indícios da presença de compostos pré-bióticos espalhados por vários sítios no Sistema Solar. Por exemplo, em 2004, a sonda Mars Express, da Agência Espacial Europeia, detectou a presença de traços de metano na atmosfera de Marte. Dado que o metano, CH₄, se dispersa em algumas centenas de anos pelo espaço devido à debilidade da força de gravidade de Marte e pela acção destrutiva da radiação solar, segue ser inevitável a existência de uma fonte deste gás no presente. O metano pode ser produzido por fontes hidrotermais, por actividade vulcânica ou biologicamente; a ausência dos dois primeiros factores parece favorecer a hipótese de uma origem biológica. A lua Titã de Saturno também apresenta uma quantidade apreciável de metano, porém a sonda Huygens da ESA/NASA descobriu recentemente evidência de que esta é devida à actividade vulcânica. Nos anos 1990, a sonda Galileo da NASA encontrou evidências compatíveis com a presença de matéria orgânica nas luas de Júpiter, Calisto, Europa e Ganimedes. No Verão de 1996, David Mckay e colaboradores da NASA tornaram pública a algo polémica evidência da presença de nanobactérias no meteorito *ALH84001* proveniente de Marte.

A estas evidências junta-se a descoberta de mais de 400 planetas extra-solares ou exoplanetas, e a perspectiva absolutamente realística de se encontrar planetas com condições físicas semelhantes às existentes na Terra e com apreciáveis quantidades de água.

Estas descobertas denotam o amadurecimento da discussão acerca da generalidade do fenómeno da vida e talvez mesmo duma elucidação dos problemas relacionados com a sua origem e das condições cósmicas para o seu aparecimento. Do ponto de vista astronómico, a presença de matéria orgânica não constitui por si um facto inédito, uma vez que estruturas orgânicas tão complexas como aminoácidos já foram detectados por meio de estudos espectrais da poeira interestelar e também em meteoritos carbonáceos, como o que caiu na localidade de Murchison, na Austrália, em 1969, e que, surpreendentemente, contém

essencialmente os mesmos aminoácidos e em proporções semelhantes aos dos produzidos na célebre experiência de Stanley Miller e Harold Urey. Em 1953, estes químicos “recriaram” as condições supostamente existentes na Terra há 4 mil milhões de anos, num frasco contendo água, H_2 gasoso, amónia, CH_3 , e metano, CH_4 , ao qual era fornecido energia por meio de descargas eléctricas.

Há que se recordar que no que se refere ao problema da origem da vida há essencialmente dois cenários possíveis: Aparecimento na Terra a partir de condições pré-bióticas ou Panspermia Cósmica (ocasional ou dirigida).

No primeiro cenário, a experiência de Miller-Urey, assim como as que a sucederam, demonstraram que aminoácidos podem ser obtidos a partir de condições abióticas desde que o ambiente e, conseqüentemente, a atmosfera primitiva fosse suficientemente redutora, isto é, livre de O_2 gasoso. O passo seguinte consiste na demonstração de que é possível a síntese de moléculas mais fundamentais para a vida na Terra, nomeadamente o ADN e/ou ARN. No ambiente celular, ADN e ARN, são as moléculas sobre as quais jaz o ónus da operacionalidade dos mecanismos de hereditariedade, da síntese de proteínas, e da conseqüente evolução biológica. A síntese de proteínas exige, no entanto, entre outros factores específicos, a presença de proteínas com propriedades de catálise, as enzimas. A descoberta das ribozimas, enzimas compostas de ARN, por Sidney Altman e Thomas Cech, em 1983, veio resolver esta questão, e apoiar a hipótese do “Mundo ARN” de Francis Crick, Leslie Orgel e Carl Woese, proposta no final de 1960: o ARN foi o precursor das macromoléculas bióticas vitais e foi também ele mesmo o catalizador das reacções necessárias para a sobrevivência e reprodução dos elos primitivos impulsionadores da vida na Terra. Tal hipótese resolve o problema do “ovo e da galinha” no contexto da problemática sobre a origem da vida. Muito recentemente, na primavera de 2009, o químico inglês John Sutherland e colegas da Universidade de Manchester deram um passo decisivo na confirmação do “Mundo ARN”, ao demonstrarem como as peças básicas do ARN, os nucléos, podem ter sido formados espontaneamente sob as condições da Terra primitiva.

Em vez de iniciarem o processo de síntese do ARN por meio de açúcares e nucleobases, Sutherland e colaboradores consideraram combinações de C_2O_2 e CN_2 para produzir um composto que com C_3N_3 e fosfato dá origem a um nucléo de ARN, a ribocianida fosfatada. O processo requer luz ultra-violeta intensa e esta é também responsável pela destruição dos nucléos inadequados, uma rota química extremamente atraente na formação dos nucléos C e U. A rota para os nucléos G e A está ainda por ser descoberta. Uma vez obtidos os quatro nucléos, o ARN pode ser formado através do processo de polimerização. A exigência de luz ultra-violeta sugere por sua vez que a vida originou-se como aludido por Darwin na sua famosa carta de 1871 ao botânico Joseph Hooker “nalguma laguna quente, com muitas formas de amônia e sais fosfóricos” e não em fissuras vulcânicas ou ventos oceânicos profundos como se tem sugerido mais recentemente.

Alternativamente, há a hipótese de que a vida apareceu inicialmente fora da Terra e, que por força do acaso, aqui chegou posteriormente, segundo a proposta original do químico sueco Svante Arrhenius (1859 - 1927) discutida no seu livro “Worlds in the Making”, de 1908. Por sua vez, Francis Crick e Leslie Orgel sugeriram em 1973 que o aparecimento da vida na Terra se deveu não ao acaso mas ao envio deliberado de microrganismos simples como as cianobactérias (algas azuis-verdes) por uma civilização mais avançada. Esta hipótese é plausível dado que microrganismos podem muito possivelmente “navegar” (e sobreviver) através das grandes distâncias interestelares, sendo disseminados pela pressão da radiação electromagnética de origem estelar.

Evidentemente, a hipótese da Panspermia Cósmica relega o problema da origem da vida para outros nichos no Universo, onde supostamente as condições foram mais favoráveis do que as reinantes na Terra há cerca de 4 mil milhões de anos. Claramente, tal possibilidade empresta ao problema da origem da vida uma dimensão cósmica, e neste contexto, é mais natural discutir-se as condições cosmológicas compatíveis com o aparecimento da vida, em oposição às locais.

Neste ponto parece relevante referir que se considera vida num contexto muito lato. Muitas definições foram avançadas, mas é provavelmente mais útil considerá-las como complementares entre si. No seu bem conhecido livro “What is life?”, o físico Erwin Schrödinger considera que *a propriedade que define os sistemas vivos é a sua capacidade de auto-organização em oposição à tendência natural para a desordem ou caos molecular*. Por sua vez, o químico Gerard Joyce propõe uma definição operacional, que é na verdade a adoptada pela NASA na investigação astrobiológica, segundo a qual *a vida consiste num sistema químico auto-sustentado susceptível de evoluir de forma darwiniana*. Uma definição cibernética foi avançada por Bernard Korzeniewski, que sugere que *a vida é uma rede de mecanismos de retroacção (feedback)*.

No que se refere a formas mais avançadas de vida, já em 1950, o físico Enrico Fermi invocava a ausência de manifestações inequívocas da presença de vida extraterrestre como um argumento contra a existência desta, assumindo que, se a vida fosse um fenómeno comum, então deveriam existir muitíssimas civilizações em condições de fornecer sinais da sua existência. Mais recentemente, o físico norte-americano Frank Tipler argumentou que a forma mais eficiente de investigar sistematicamente a presença de vida seria por meio de sondas com programas de auto-reprodução, as chamadas máquinas de von Neuman, e que o facto de não existirem vestígios destas máquinas enviadas por civilizações mais avançadas indica a inexistência destas. Contudo, Sagan e Newman contra argumentam que a reprodução de máquinas von Neumann colocaria a galáxia em risco, pois em cerca de 2 milhões de anos a reprodução destas máquinas causaria uma perigosa escassez de matérias primas, de modo que uma civilização avançada nunca levaria a cabo um programa de investigação desta natureza [3].

Apesar de admitir que esses argumentos são elegantes, pessoalmente, eu não me sinto atraído de todo pela perspectiva duma solidão cósmica. Muito pelo contrário, penso que do ponto de vista físico, parece mais natural que vida deva existir abundantemente no Universo. Na verdade, vejo a vida como um *imperativo cósmico*. Tal convicção tem origem na

universalidade das leis da física. Com base na experiência de centenas de anos a estudar a Natureza, os físicos têm acumulado evidências suficientes para acreditar que as leis físicas, e consequentemente as da química, são válidas em todo o Universo. Todo o conhecimento astronómico e cosmológico é baseado nesta premissa. Assim, repetidas as condições que deram origem à vida na Terra, as estruturas básicas da vida desenvolver-se-ão até atingirem o ponto de serem moldadas pela selecção natural biológica. Dada a vastidão do Cosmos e a infinidade de condições que podem ter lugar no seu seio, parece lógico concluir que a vida é uma ocorrência corriqueira no Universo e até mesmo inevitável, dada a flexibilidade e plasticidade das suas manifestações. Assim, sou levado a concluir que a vida constitui um facto incontornável na história do Universo, sendo uma das suas propriedades mais fascinantes [1,3].

Princípios Antrópicos e o Multiverso

Na cosmologia moderna a discussão das condições cósmicas para o surgimento da vida está associada aos chamados Princípios Antrópicos. Porém, para os discutirmos há que se entender como os acontecimentos mais marcantes na evolução do Universo estão ligados ao problema da vida.

Cerca de 10^{-35} segundos após o Big Bang, o Universo passou por um período de expansão extremamente acelerada, a inflação, que explica as propriedades mais marcantes do Universo, assim como as flutuações de densidade que deram origem às galáxias. Posteriormente, entre os primeiros segundos até aos primeiros minutos após o Big-Bang, ocorreu a nucleossíntese, isto é, a síntese de ${}^4\text{He}$ (cerca de 23%), ${}^3\text{He}$ ($10^{-3}\%$), Deutério ($10^{-3}\%$) e ${}^7\text{Li}$ ($10^{-8}\%$) a partir do Hidrogénio primordial, constituindo 76% da matéria convencional observada (cujo total não ultrapassa, como vimos acima, 5% do total do Universo). As flutuações de densidade primordiais geradas no processo inflacionário deram origem, nos primeiros milhares de milhões de anos após o Big-Bang, por meio da acção da matéria escura, às galáxias, e no seio destas às estrelas; posteriormente formaram-se os enxames e os super-enxames de galáxias.

Foi no seio das estrelas que a síntese dos elementos mais pesados foi gradualmente sendo levada a cabo a partir dos elementos primordiais, sendo estes lançados para o meio interestelar, nos estágios finais da evolução estelar, quando da explosão de Novas ou Supernovas. Assim, a matéria prima do que viriam a ser os planetas, os seus satélites e, finalmente, a vida originou-se inicialmente no processo de síntese nuclear no seio do plasma cosmológico primordial e, posteriormente, no interior das estrelas. Um ponto fulcral nesta cadeia de eventos é que o resultado destes processos é fortemente dependente das características intrínsecas das interacções fundamentais da Natureza.

Por exemplo, se o valor da constante de Newton da gravitação universal fosse superior, então o Universo voltaria ao estágio inicial¹, sem que houvesse tempo para que ocorresse a síntese primordial dos elementos e o aparecimento da vida. Se a constante de acoplamento das interacções fortes e fracas fosse diferente, a nucleossíntese primordial de elementos não ocorreria e no interior das estrelas não seriam atingidas as condições necessárias para o funcionamento prolongado dos ciclos que dão origem ao carbono, oxigénio e os outros elementos. Na verdade, o ciclo do carbono, elemento tão fundamental para a vida, requer que as reacções nucleares que acontecem no interior das estrelas, $3 He^4 \rightarrow C^{12} + Energia$, $2 He^4 + Energia \rightarrow Be^8$ e $He^4 + Be^8 \rightarrow C^{12} + Energia$, sejam especialmente prováveis para intervalos bem definidos de energia. Contrariamente, a reacção $C^{12} + He^4 \rightarrow O^{16}$ não o deve ser, facto que deve ser atribuído aos valores das constantes de acoplamento das interacções forte e electromagnética. Assim, se as constantes fundamentais da natureza fossem modificadas, o Universo seria completamente diferente e, em particular, estéril. Estas observações constituem a base dos Princípios Antrópicos, essencialmente sintetizados através da indagação: estão as leis da física condicionadas e viabilizadas pelo aparecimento da vida no Universo? Esta inversão do raciocínio usual de que a vida requer condições físico-

¹ Uma questão intrigante relativamente à possibilidade dum Universo em contracção, é o da possibilidade de inversão da “seta” do tempo, isto é, do sentido de evolução temporal do passado para o presente, do presente para o futuro [9,10].

químicas favoráveis ao seu aparecimento, foi pela primeira vez formulada pelo físico norte-americano Robert Dicke em 1961:

Os valores observados das grandezas físicas não são arbitrários, mas restritos de modo a serem espacialmente compatíveis com a evolução da vida, e temporalmente consistentes com a evolução biológica e cosmológica de organismos vivos e de seus nichos.

Uma versão mais “forte” foi sugerida pelo físico australiano Brandon Carter : *O Universo deve necessariamente conter vida.*

Claramente, os Princípios Antrópicos não tem qualquer poder preditivo e não fazem mais do que operacionalizar a nossa ignorância dos factores últimos que deram origem às propriedades do Universo observável ao promover a propriedade de ser compatível com a evolução de vida inteligente a um critério de selecção. Evidentemente, o conjunto de condições para o aparecimento da vida é extremamente especial e improvável a partir da situação na qual as leis da física e constantes fundamentais da natureza são quaisquer, assim uma solução possível envolveria o Big Bang dar origem a um grande número de universos com leis físicas distintas entre si, de modo que seria natural que nalguns destes as leis e as constantes físicas fossem compatíveis com o aparecimento da vida.

Com certeza, estas ideias são algo inquietantes, pois parecem ser à primeira vista metafísicas e estão longe do princípio de economia de entidades conceptuais que os físicos teóricos tanto apreciam quando da construção de teorias. A multiplicação de universos e a variação de quantidades que na física usual são constantes é sem dúvida um preço algo caro a pagar. Contudo, estas possibilidades podem ter origem na física quântica, que em última instância rege os fenómenos microscópicos e que, quando do Big Bang, foram dominantes também ao nível da gravitação, uma fase usualmente referida como a da gravidade quântica. De facto, em alguns cenários de unificação das interacções fundamentais da Natureza, e em particular na teoria das supercordas quânticas, o multiverso pode ter surgido dum espaço eterno e primordial. Neste contexto não é nada surpreendente que nesta multiplicidade de universos, haja alguns com as leis física como o do nosso e que admitam condições favoráveis ao

aparecimento da vida. Assume-se que estes universos sejam independentes e não interajam entre si, muito embora uma putativa interacção entre universos teria interessantes implicações e poderia explicar, por exemplo, o paradoxo da constante cosmológica [11]. Contudo, a multiplicidade de universos levanta a questão da natureza de critérios que deu origem à escolha do nosso Universo entre todos os possíveis, um facto absolutamente extraordinário se devido ao acaso. Se ao cenário do multiverso juntarmos o Princípio Antrópico, na sua versão mais forte, obtemos um critério para a escolha ainda que sem qualquer poder preditivo. Pessoalmente, não fico satisfeito com esta solução. Considero-a provisória e indicativa que há ainda muito por se compreender.

Uma alternativa seria assumir que as leis da física se alteram com a evolução do Universo. Naturalmente, esta hipótese tem que ser consistente com as teorias fundamentais de unificação das interacções fundamentais da Natureza, facto que não está de todo estabelecido experimentalmente (consultar por exemplo a referência [12] e outras ali referenciadas). A hipótese de um Universo onde as leis da física, elas mesmas, evoluam pode possivelmente ser mais atraente para os biólogos, mesmo porque foi com este espírito que o bioquímico norte-americano Lawrence Henderson discutiu pela primeira vez em 1913 a dependência da vida das propriedades físico-químicas da água.

Certamente, o debate sobre a origem da vida é tão fundamental quanto o da evolução do Universo. E devemos estar sempre abertos à surpresa, pois apesar da especificidade das condições necessárias ao aparecimento da vida, não se pode excluir que a combinação de eventos pouco comuns dêem origem a acontecimentos completamente imprevisíveis. Parece plausível pensar que mundos semelhantes ao nosso possam existir, mas que dada a complexidade dos processos envolvidos, abrigem formas de vida completamente distintas das que conhecemos no nosso planeta. Nunca o saberemos até depararmos vida fora da Terra. E ainda que encontro com outras formas de vida e/ou o contacto com uma civilização extra-terrestre sejam pouco prováveis dada a vastidão dos Cosmos, é indubitável que terá profundas consequências para a nossa civilização e para a sua relação com o Universo.

Referências bibliográficas

- [1] O Livro das Escolhas Cósmicas, Orfeu Bertolami (Gradiva, Lisboa 2006).
- [2] “Cosmological thinking: cultural heritage and challenge”, Orfeu Bertolami, palestra apresentada no Terceiro Simpósio Internacional Fronteiras da Ciência: A Humanidade e o Cosmos”, 13-14 Novembro 2009, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal (<http://arxiv.org/abs/1001.4196>).
- [3] “Some new reflections on Mr. Palomar”, Orfeu Bertolami, palestra apresentada na conferência “Cosmology across cultures: Impact of the Study of the Universe in Human Thinking”, 8-12 Setembro 2008, Granada, Espanha (<http://arxiv.org/abs/0801.3681>).
- [4] “What is fair to ask society to fund?” Orfeu Bertolami, palestra apresentada no “International Symposium on Science, Knowledge and the Market”, 21-23 Outubro 2004, Lisboa, Portugal (<http://arxiv.org/abs/physics/0411026>).
- [5] “The Cosmological constant problem: A User's guide”, Orfeu Bertolami, Int. J. Mod. Phys. D18, 2303 (2009) (<http://arXiv.org/abs/0905.3110>).
- [6] “The Higgs portal and an unified model for dark energy and dark matter”, O. Bertolami e R. Rosenfeld, Int. J. Mod. Phys. A23, 4817 (2008) (<http://arxiv.org/abs/0708.1784>).
- [7] “Generalized Chaplygin gas, accelerated expansion and dark energy matter unification”, M. C. Bento, O. Bertolami e A. A. Sen, Phys. Rev. D66, 043507 (2002) (<http://arXiv.org/abs/gr-qc/0202064>).
- [8] “The Adventures of Spacetime”, Orfeu Bertolami, em “Relativity and the Dimensionality of the World” (Springer 2007) (<http://arxiv.org/abs/gr-qc/0607006>).
- [9] “The Mystical formula and the mystery of Khronos”, Orfeu Bertolami, em “Minkowski Spacetime: A Hundred Years Later”, (Springer 2010) (<http://arxiv.org/abs/0801.3994>).
- [10] “Time and Causation”, Orfeu Bertolami e Francisco Lobo, NeuroQuantol.7, 1 (2009) (<http://arXiv.org/abs/0902.0559>).

[11] “A Curvature Principle for the interaction between universes”, Orfeu Bertolami, Gen. Rel. Grav. 40, 1891 (2008) (<http://arXiv.org/abs/0705.2325>).

[12] “Dark energy and the Rutherford-Soddy radiative decay law”, M. C. Bento e O. Bertolami, Phys. Lett. B675, 231 (2009) (<http://arXiv.org/abs/0901.1818>).