

A Vida e o Cosmos

Orfeu Bertolami

Instituto Superior Técnico, Departamento de Física

Julho 1997

Informação recente proveniente da sonda Galileu indicando a possível presença de matéria orgânica nas luas Calisto, Europa e Ganimedes de Júpiter, a descoberta pela mesma sonda do campo magnético de Ganimedes e ainda a algo polémica evidência da presença de nanobactérias no meteorito *ALH84001* proveniente de Marte descoberta por David Mckay e colaboradores no verão de 1996, relançam, talvez da forma mais concreta de sempre, a discussão sobre a origem da vida e biologia extraterrestre, a chamada Exobiologia. Às descobertas acima mencionadas, juntam-se naturalmente às dos primeiros planetas extra-solares orbitando em torno da 51 Pegasus por Michel Mayor e Didier Queloz do Observatório de Genebra em 1995, no ano passado pelos americanos Geoffrey Marcy e Paul Butler orbitando ao redor da 47 Ursa Maior e 70 da Virgem e muito recentemente de um outro em torno da Rho Coronae Borealis por Robert Noyes e colaboradores. Todas estas descobertas indicam que estamos diante dos primeiros elementos para se iniciar uma discussão verdadeiramente científica acerca da generalidade do fenómeno da vida e talvez mesmo de uma 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 amino-ácidos já foram detectados por meio de estudos espectrais da poeira interestelar e também em meteoritos carbonáceos, como por exemplo o meteorito caído em Murchison na Austrália em 1969 e que, surpreendentemente, contém essencialmente os mesmos amino-ácidos e em proporções semelhantes aos produzidos na célebre experiência de Stanley Miller e Harold Urey. Como é bem conhecido, estes cientistas “recriaram” no início dos anos 50 as condições supostamente existentes na Terra há 4 mil milhões de anos, num frasco contendo água, hidrogéneo gasoso H_2 , amónio CH_3 e metano CH_4 na ausência de O_2 , condição entendida como essencial por Alexander Oparin e John Haldane já nos anos 30, e para o qual energia era fornecida por meio de descargas eléctricas.

As recentes descobertas acima mencionadas vêm relançar, trazendo novos elementos, a bastante bem conhecida dicotomia entre as teorias sobre a origem da vida: Emergência na Terra a partir de condições pré-bióticas ou Panspermia Cósmica (ocasional ou dirigida). Se, por um lado, a experiência de Miller-Urey e as que a sucederam demonstraram que

amino-ácidos podem ser obtidos a partir de condições abióticas desde que o ambiente e conseqüentemente a atmosfera primitiva fosse suficientemente redutora, isto é, livre de oxigênio gasoso O_2 (hipótese ainda não estabelecida solidamente do ponto de vista geofísico), por outro lado, nas mesmas condições, a síntese de ADN e ARN e proteínas nunca foi demonstrada. No ambiente celular, ADN e ARN, moléculas sobre as quais jaz o onus da operacionalidade dos mecanismos de hereditariedade a nível molecular e conseqüente evolução biológica, regulam a síntese de proteínas segundo o “dogma central”, nas palavras de Francis Crick, $ADN \rightarrow ARN \rightarrow Proteínas$, onde as setas indicam o processo de síntese. Esta síntese exige, contudo, 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 parcialmente resolver esta questão, e apoiar a hipótese do “Mundo ARN” de Francis Crick, Leslie Orgel e Carl Woese proposta no final dos anos sessenta: a ARN foi a precursora das macromoléculas bióticas vitais e foi também ela mesma a catalizadora das reacções necessárias para a sobrevivência e reprodução dos precursores primitivos da vida na Terra. Tal hipótese resolve o problema do “ovo e da galinha”, porém resta ainda por ser explicado como a ARN auto-replicante foi criada. Mesmo considerando as hipóteses mais plausíveis para a formação da molécula de ARN, assumindo que os nucléos na ARN se formaram através de reacções químicas que ligaram açúcar ribose com bases de ácidos nucléicos e fosfato e a partir destes ribonúcleos por meio da união espontânea de polímeros, alguns dos quais com propriedades de auto-replicantes, esta cadeia de eventos nunca foi experimentalmente confirmada e parece mesmo inverosímil dada a improbabilidade de se satisfazer todas as condições necessárias para a síntese fortuita do ARN a partir dos amino-ácidos da sopa primordial. Também as hipóteses alternativas, que invocam as propriedades catalíticas de superfícies, tais como argilas cristalinas segundo Graham Cairns-Smith, pirites segundo Günther Wächterhäuser, ou compostos sulfurosos que, segundo De Duve, poderiam dar origem às unidades de ribose ou alguma forma primitiva de ARN, estão ainda longe de responder às questões mais fundamentais do cenário ARN. Contudo, desenvolvimentos muito recentes devidos a Jack Szostak e David Bartel, que demonstraram no ano passado

a viabilidade de moléculas de ARN auto-replicas podem ser obtidas por meio da ligação casual de núcleos e das suas propriedades catalíticas, indicam que este cenário não está ainda totalmente excluído.

Alternativamente, existe a hipótese que a vida apareceu inicialmente fora da Terra e, por força do acaso, aqui chegou posteriormente, segundo a proposta original do químico sueco Svante Arrhenius no seu famoso livro “Worlds in the Making” de 1908 e mais recentemente, pelo astrónomo Fred Hoyle e Chandra Wickramasinghe que vêm defendendo que a queda de material orgânico e microrganismos acontece hodiernamente. Este último facto é naturalmente por muitos contestado. No que se refere a formas mais avançadas de vida, já nos anos 40, o bem conhecido prémio Nobel de física 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 relativamente comum, então deveriam existir muitíssimas civilizações em condições de se manifestar. Mais recentemente Frank Tipler argumentou que a forma mais eficiente de investigar sistematicamente acerca da 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 fortemente a inexistência destas. Contudo, apesar destes argumentos, a ideia vem sendo repetidamente discutida na literatura. Por exemplo, Crick e Orgel sugeriram em 1973 que o aparecimento da vida na Terra se deveu ao envio deliberado de microrganismos tais como cianobactérias (algas azuis-verdes) por uma civilização mais avançada. No ano passado, por exemplo, Secker, Lepock e Wesson argumentaram que microrganismos podem muito possivelmente “navegar” (e sobreviver) através das grandes distâncias interestelares sendo disseminados pela pressão da radiação electromagnética de origem estelar.

É evidente que a hipótese da Panspermia Cósmica relega o problema da origem da vida para outros sítios no Universo onde supostamente as condições foram mais favoráveis do que as reinantes na Terra há cerca de 4 mil milhões de anos e claramente tal possibilidade empresta ao problema da origem da vida um sentido cósmico. Neste contexto, parece mais natural discutir-se as condições cosmológicas, em oposição às locais, compatíveis com o

aparecimento da vida.

Naturalmente, uma limitação inerente ao problema da origem da vida é a dificuldade de se testar as teorias propostas e mesmo encontrar na Terra, dada a radical transformação da sua da crosta pela tectónica, vestígios que seguramente apoiem uma teoria em detrimento das demais. Esta situação pode contudo, ser completamente alterada com a intensificação da investigação.

Na cosmologia moderna a discussão das condições cósmicas para o surgimento da vida está associada aos chamados Princípios Antrópicos. Porém, antes de os enunciar, é necessário discutir os acontecimentos mais marcantes na evolução do Universo e que estão crucialmente ligados ao problema da vida. Logo após o Big-Bang (supostamente 10^{-35} segundos após o Big-Bang), que aconteceu entre 13 e 15 mil milhões de anos atrás, evidências diversas apontam que o Universo passou por um período de expansão extremamente acelerada denominada inflação, aproximadamente quando as interacções fundamentais da natureza (interacções nuclear forte, electromagnética e nuclear fraca) começaram a se diferenciar. Posteriormente, aproximadamente entre os primeiros segundos até os primeiros minutos após o Big-Bang, ocorreu a síntese de He^4 (23%, aproximadamente), He^3 (10^{-3} %), Deutério (10^{-3} %) e Li^7 (10^{-8} %) a partir do hidrogénio primordial, o qual termina como o elemento mais abundante no Universo com 76 % da massa total da matéria convencional observada *. As flutuações de densidade primordiais geradas quando da inflação deram origem, nos primeiros milhares de milhões de anos após o Big-Bang, às galáxias e posteriormente às estrelas. Foi no seio destas últimas que a síntese dos elementos mais pesados foi gradualmente sendo levada a cabo a partir do H e He^4 primordiais e os elementos produzidos foram finalmente ejectados para o meio interestelar nos estágios finais da evolução estelar quando da explosão de Novas ou Supernovas. Assim, a matéria prima do que viriam 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

* Acredita-se que a dinâmica do Universo é muito possivelmente dominada por matéria de natureza desconhecida e que por não emitir radiação electromagnética é designada por “matéria escura”.

no interior das estrelas. Contudo, um ponto importante é que o resultado destes processos são fortemente dependentes das características intrínsecas das interacções fundamentais da Natureza. Por exemplo, se a constante de Newton da gravitação universal assumisse um valor muito superior, então o Universo provavelmente colapsaria logo após o Big-Bang sem que houvesse tempo para que ocorresse a síntese primordial de elementos e o aparecimento da vida. Se a constante de acoplamento das interacções fortes e fracas fosse diferente, a nucleosíntese 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 e o oxigénio. Na verdade, o ciclo do carbono, elemento tão fundamental para a vida, requer que as reacções nucleares que acontecem no interior das estrelas $3He^4 \rightarrow C^{12} + Energia$ e $2He^4 + Energia \rightarrow Be^8$ e $He^4 + Be^8 \rightarrow C^{12} + Energia$ sejam ressonantes, isto é especialmente prováveis para intervalos bem definidos de energia, e que contrariamente a reacção $C^{12} + He^4 \rightarrow O^{16}$ não o seja, facto este que pode, em última instância, ser atribuído aos valores das constantes de acoplamento das interacções forte e electromagnética. Considerações semelhantes poderiam também ser tecidas para outras constantes da Natureza. Por exemplo, a famosa constante cosmológica introduzida por Einstein nas equações do campo gravítico em 1918 não pode ser arbitrariamente grande, sob pena de inviabilizar a formação de estruturas no Universo, etc. Assim, se as constantes fundamentais da natureza fossem alteradas relativamente umas às outras, o Universo seria completamente diferente e, em particular, possivelmente estéril. Estas observações constituem a base dos chamados Princípios Antrópicos, que podem ser essencialmente sintetizados através da seguinte questão: Estão as leis da física condicionadas e viabilizadas pelo aparecimento da vida no Universo? Esta intrigante inversão do raciocínio usual de que a vida requer condições físico-químicas favoráveis ao seu surgimento, tem várias formulações com grau crescente de radicalização. A versão fraca de Robert Dicke (1957) (Princípio Antrópico Fraco) afirma:

Os valores observados das grandezas físicas não são arbitrários, mas restritos de modo a serem espacialmente compatíveis com a evolução sustentada da vida, e temporalmente

consistentes com a evolução biológica e cosmológica de organismos vivos e de seus nichos;

Brandon Carter, sugeriu em 1974 uma versão forte (Princípio Antrópico Forte):

O Universo deve necessariamente conter vida.

Por sua vez, John Wheeler propôs, em 1977, a sua versão participativa (Princípio Antrópico Participativo), fortemente inspirada no problema da medida na mecânica quântica, a teoria física que rege os fenômenos a pequenas escalas:

Observadores são necessários para a existência do Universo;

finalmente Frank Tipler em 1982 sugere por sua vez uma versão teleológica (Princípio Antrópico Teleológico):

O processamento inteligente de informação deve emergir no Universo e quando este vier a existir ele nunca deve cessar.

Todas estas versões do Princípio Antrópico Fraco, princípio este que é apenas constata-tivo, visam estabelecer as hipóteses a partir das quais consequências podem ser extraídas e posteriormente observadas. Naturalmente, os Princípios Antrópicos não constituem uma teoria, e reflectem e operacionalizam a nossa ignorância dos factores últimos que deram origem ao Universo observável e à sua característica de ser compatível com a evolução da vida inteligente. Apesar do desconhecimento das condições iniciais, podemos contudo imaginar explicações para a extraordinária propriedade do Universo ser compatível com a vida. Como o conjunto de condições iniciais envolvidas é extremamente especial e improvável a partir da situação onde todas as leis da física e constantes fundamentais da natureza são possíveis, as hipóteses mais plausíveis assumem, por exemplo, que o Big-Bang deu origem a infinitos universos independentes uns dos outros e com leis físicas distintas, onde nalguns dentre estes as leis da física e constantes físicas são compatíveis com o aparecimento da vida. Alternativamente, as leis da física e constantes da natureza poderiam, num único Universo, evoluir no sentido biológico e teleológico de modo a admitirem a vida em certas regiões. O físico John Wheeler propoe que esta variação das constantes fundamentais da

natureza poderia ocorrer após o recolapso do Universo, o chamado “Big-Crunch”, tal que o subsequente novo Big-Bang “reprocessaria” as leis da física; recentemente Lee Smolin sugeriu uma versão desta ideia onde não é necessário o recolapso de todo o Universo, uma vez que este reprocessamento pode ocorrer quando do colapso de estrelas e formação dos buracos negros. Claramente, estas propostas são algo inquietantes, pois parecem ser à primeira vista metafísicas e estão, de qualquer forma, longe do princípio de economia de entidades conceptuais que os físicos teóricos tanto preferem quando da construção de teorias. A multiplicação de universos e a variação de quantidades que na física usual são constantes é para muitos um preço demasiado caro a pagar. Contudo, tais características podem na verdade emergir da física quântica, que em última instância rege os fenómenos microscópicos e que, quando do Big-Bang, foram dominantes também ao nível da gravitação (é costume referir esta fase como o período da gravidade quântica). De facto, nos cenários de unificação das interacções fundamentais da natureza mais avançados que englobam também a interacção gravitacional, logo após os primeiríssimos instantes depois do Big-Bang, o próprio espaço-tempo esteve sujeito a violentas flutuações e, neste processo, múltiplos pequenos universos foram então criados, outros tantos destruídos e alguns (como o nosso) expandiram-se vindo a admitir condições favoráveis ao aparecimento da vida. Assim, o facto do nosso Universo ter leis da física que admitem a vida é apenas o reflexo de um sem fim de “tentativas falhadas”, isto é, universos estéreis e um outro grande número de universos com condições não de todo diferentes das que prevalecem no nosso Universo. É importante notar que a consistência das teorias físicas envolvidas exige que estes universos sejam independentes e mutuamente exclusivos. Estas hipóteses são todas plausíveis aos olhos dos físicos, porém, é necessário ainda atingir um melhor entendimento das implicações mais salientes de tais cenários de modo a poder-se estabelecer o conjunto de observações que os possam distinguir. Possivelmente para os biólogos, a ideia de um Universo onde as leis da física, elas mesmas, evoluam pode ser mais atraente, mesmo porque foi neste âmbito que o bioquímico americano Lawrence Henderson discutiu pela primeira vez em 1913 a extraordinária dependência da vida nas propriedades físico-químicas da água. As suas ideias foram contudo rejeitadas pela maior parte dos biólogos

que argumentavam que os organismos estão adaptados aos seus ambientes por seleção natural e não o contrário. Naturalmente, estas discussões são apenas tentativas de se entender como o Universo se organiza e não interferem com a observação de que, por exemplo, a presença de água está, com grande probabilidade, associada com a potencial existência da vida. É precisamente este facto que reveste com especial interesse as observações da crosta gelada do satélite Europa também efectuadas pela sonda Galileu, precisamente porque sob esta crosta deve existir muito provavelmente água no estado líquido e talvez alguma forma de vida. As descobertas da sonda Galileu evidenciam também que a vida pode existir também em satélites de grandes planetas e não está exclusivamente associada aos planetas, estendendo assim de forma considerável as regiões às quais os planetólogos costumam chamar de “zona habitável”; estas compreendem um conjunto de condições favoráveis ao aparecimento da vida, tais como temperaturas no intervalo de 0°C a 120°C (a possibilidade de temperaturas tão elevadas como a indicada deve-se à relativamente recente descoberta das arqueobactérias), atmosfera estável e inicialmente redutora, tectonismo moderado, presença de campos magnéticos e, naturalmente, de água no estado líquido.