

Prof. Dr. Sergio Pilling

Aluno: Will Robson M. Rocha

15 – Química prebiótica e formas de vida primitiva

1. Introdução

A ciência que estuda a origem da vida na Terra discute os meios pelos quais a vida veio a surgir. Atualmente existem dois caminhos que não são contraditórios como muitos pensam, mas pelo contrário, podem ter sido complementares. São eles a produção endógena de moléculas orgânicas e a entrega exógena de moléculas orgânicas. As duas teorias são muito fortes e serão abordadas neste capítulo.

Ainda neste capítulo abordaremos modelos de dinâmica molecular que tentam explicar como pode ter surgido a primeira célula, que indispensável para a vida. Além disso, serão mostrados resultados de experimentos de cunho astrobiológico, que estudam a capacidade de organismos vivos sobreviverem às condições do espaço.

2. Experimentos de Urey-Miller

Por volta de 1920, dois cientistas, o bioquímico russo Aleksandr I. Oparin (1894 - 1980) e o biólogo inglês John B. S. Haldane (1892 - 1964) apresentaram seus resultados baseados no estudo da teoria da evolução química do biólogo inglês Thomas H. Huxley (1825 - 1895). Segundo a teoria, a Terra primitiva continha compostos químicos inorgânicos, que combinados a fenômenos físicos como descargas elétricas produziram compostos orgânicos, que são a base da vida na Terra. Porém, esta hipótese só foi testada em laboratório em 1953 pelos cientistas Stanley L. Miller (1930 - 2007) e Harold C. Urey (1893 - 1981), realizando o experimento que será mostrado na próxima seção.

2.1 Estrutura do experimento

Os cientistas Urey e Miller elaboraram um sistema que reproduzisse a hipótese de Oparin e Haldane, inserindo em um sistema fechado gases de hidrogênio (H_2), amônia (NH_3), metano (CH_4) e vapor de água. A Figura 14.1 mostra uma ilustração do experimento de Urey-Miller.

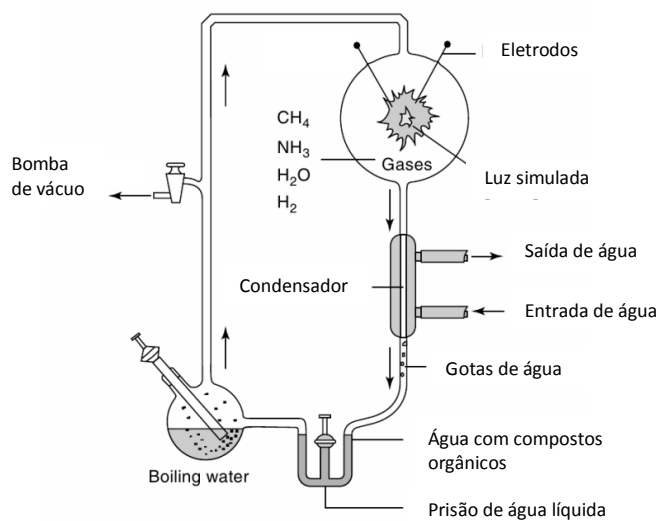


Figura 14.1: Ilustração da experiência realizada por Urey e Miller em 1953 para testar a hipótese de Oparin e Haldane. O sistema fechado é composto por vapor de água e gases de H_2 , NH_3 e CH_4 para simular a atmosfera da Terra primitiva. O ciclo da água combinada com a presença de gases e descargas elétricas criaram compostos orgânicos a partir de compostos inorgânicos. Fonte: Shaw et al. ^[1].

O experimento consistia em reproduzir o ciclo da água, que era iniciado por aquecer a água líquida. O vapor de água seguia até a câmara de gases, onde ocorriam descargas elétricas, que simulavam os raios. Depois a água passava por um condensador, e finalmente eram observadas espécies orgânicas junto com a água líquida.

2.2 Principais resultados

Os resultados obtidos do experimento de Urey-Miller se tornaram um sucesso até hoje, uma vez que foram produzidos aminoácidos, que têm por função a produção de proteínas que são essenciais para a vida e outros compostos orgânicos. A forma de análise dos resultados foi através de cromatografia em papel, onde foram observadas moléculas de ácido aspártico, glicina, α - e β -alanina e α -amino-n-ácido butírico, como mostrado na Figura 14.2.

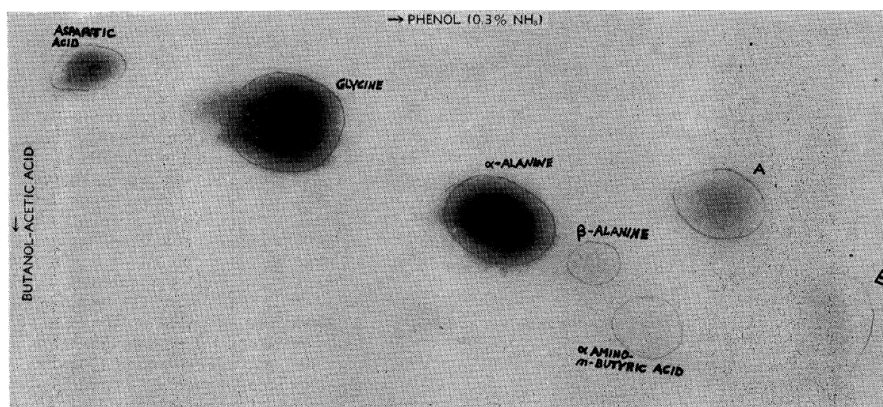


Figura 14.2: Cromatografia em papel mostrado os resultados obtidos do experimento de Urey-Miller. Fonte: Miller [2].

No entanto, em 2000 (Miller et al. [2]), novos experimentos foram realizados, porém a análise foi feita com um cromatógrafo com tecnologia mais avançada, mostrando que do experimento de Urey-Miller, foram formados em torno de 20 compostos orgânicos, dentre eles 11 aminoácidos.

Apesar do sucesso deste experimento, algumas teorias sugerem que as condições da atmosfera da Terra primitiva eram diferentes daquelas simuladas por Urey e Miller em 1952. Contudo, em tais circunstâncias moléculas orgânicas continuam sendo produzidas.

3. Entrega exógena de moléculas orgânicas

A teoria da entrega exógena de moléculas orgânicas argumenta que cometas e meteoritos trouxeram material orgânico para a Terra. Essa teoria tem ganhado força, já que muitas moléculas orgânicas foram encontradas nestes objetos. Um dos casos mais conhecidos é o do meteorito Murchison que caiu na Austrália em 1969. Sua imagem e a detecção de uracila e outros compostos orgânicos estão mostrados na Figura 14.3.

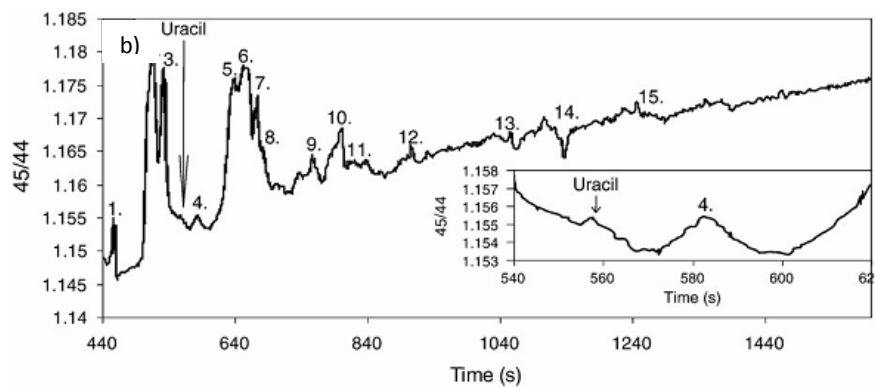


Figura 14.3: (a) Imagem do meteorito Murchison no museu de História Natural de Washington, EUA. Fonte: en.wikipedia.org/wiki/Murchison_meteorite. (b) Resultado de um cromatógrafo a gás com um espectrômetro de massas mostrando a detecção de moléculas orgânicas (números) e uracila no meteorito Murchison. Fonte: Martins et al. [3].

A Figura 14.4 apresenta um diagrama onde são mostradas as abundâncias em partes por bilhão de alguns aminoácidos e espécies orgânicas que já foram detectadas em meteoritos.

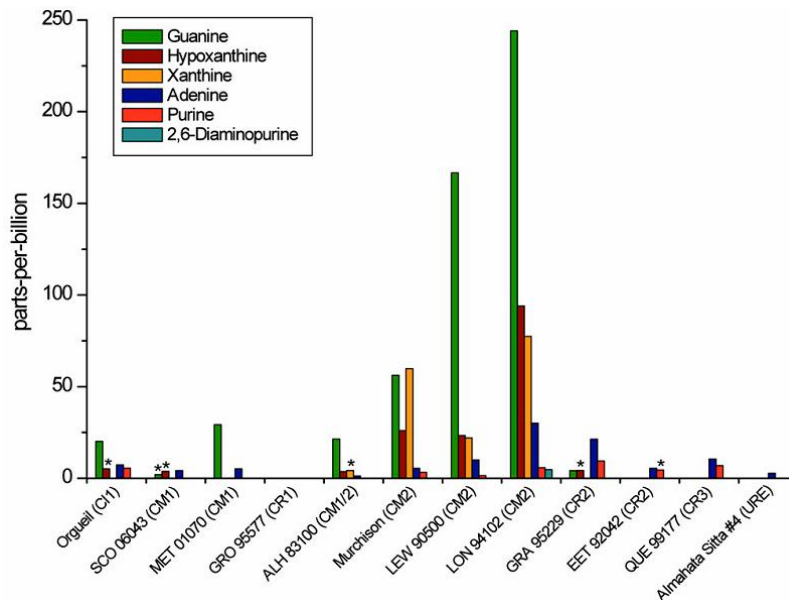


Figura 14.4: Abundâncias em partes por bilhão de aminoácidos e espécies orgânicas observadas em 11 meteoritos do tipo condritos carbonáceos e 1 ureilito. Os * representam tentativas de detecção. Fonte: Callahan et al. [4].

4. Homoquiralidade molecular

O mistério da homoquiralidade molecular é importante no contexto do surgimento da vida na Terra. Conforme tradução livre do link: <http://en.wikipedia.org/wiki/Homochirality>, a homoquiralidade descreve as propriedades geométricas de alguns materiais que são compostos de unidades quirais. O termo quiral refere-se à não superposição em 3D das mesmas moléculas, que são espelhos umas das outras, como a mão direita e esquerda.

Para identificar a estrutura quiral de uma molécula é feito um estudo de polarização da radiação ao passar por uma molécula, como mostra a ilustração da Figura 14.5.

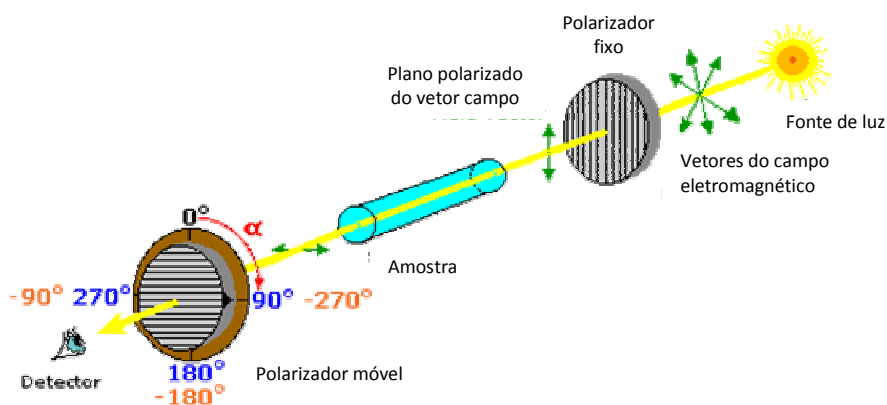


Figura 14.5: Ilustração da montagem experimental para determinar a quiralidade molecular. A amostra pode girar o plano de polarização da luz para a direita ou para a esquerda. Fonte: <http://eochemistry.wikispaces.com/Chirality+and+Polarization+-+Ryan+Seery>.

Quando a radiação polarizada interage com aminoácidos ou açúcares, esta pode ter seu plano de polarização girado para a direita ou para a esquerda, e a molécula é chamada de dextrogiira (D) ou levogira (L), respectivamente. O grande mistério da homoquiralidade consiste em que os aminoácidos que compõem a vida são do tipo L, enquanto que os açúcares são do tipo D. Os aminoácidos que são produzidos do experimento de Urey-Miller são formados em mesma proporção sendo 50 % do tipo L e 50 % do tipo D. Essa proporção é chamada de mistura racêmica. Por outro lado, foi encontrado no meteorito Murchison um excesso de aminoácidos do tipo L, em cerca de 33 %.

5. Formas de vida primitiva (Possível caminho de formação da primeira célula)

O caminho entre sair da “sopa” de moléculas orgânicas via produção endógena ou entrega exógena de material orgânico para a formação da primeira vida primitiva é muito longo. Porém neste trabalho não serão discutidas as teorias de como foi este curso da evolução.

5.1 Self-Assembly

O termo em inglês *self-assembly* descreve processos que se auto-organizam como, por exemplo, moléculas de fosfolípidios em água. As ilustrações mostradas na Figura 14.6 ajudam a entender um processo de *self-assembly*.

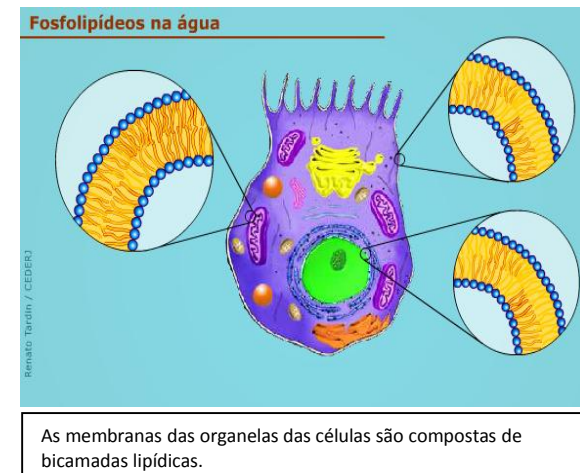
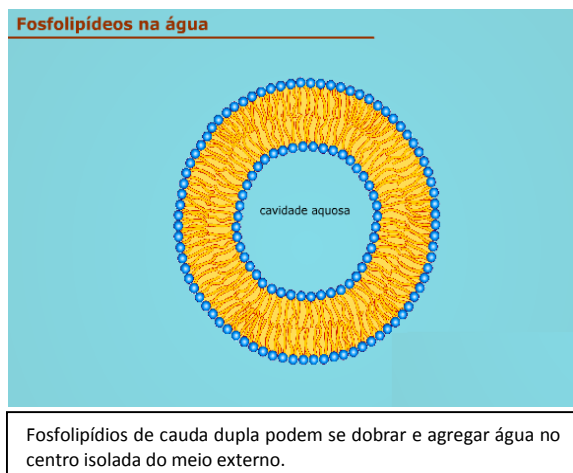
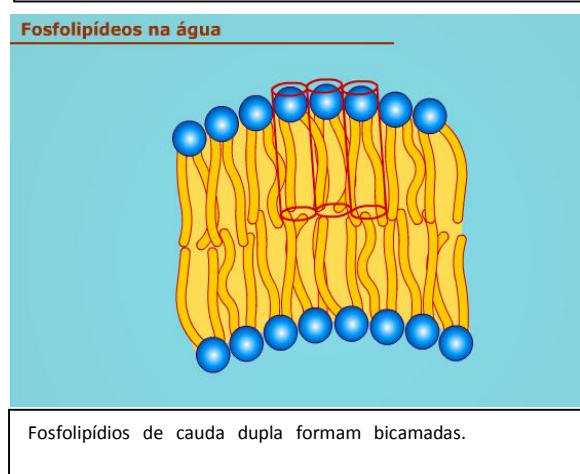
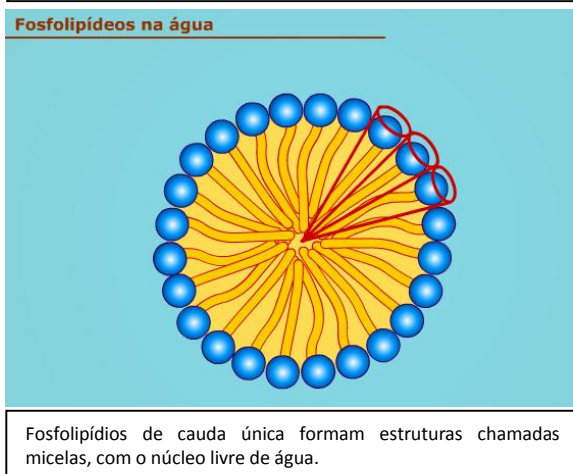
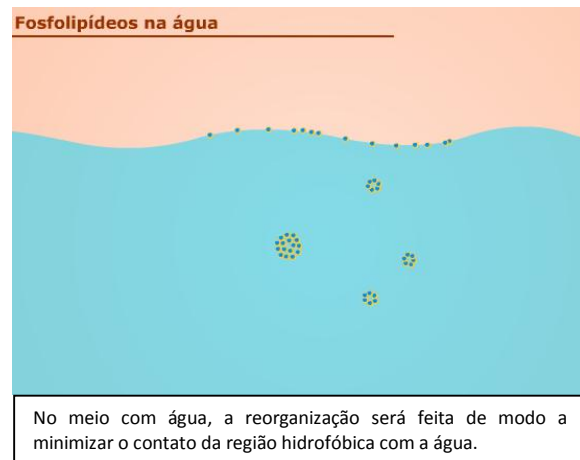
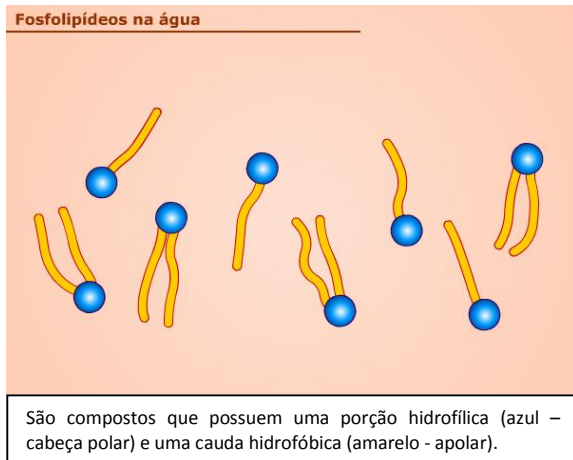


Figura 14.6: Ilustração do processo de *self-assembly* com fosfolípidios na presença de água. Fonte: <http://www.vmedia.com.br/bioquimica/fosfomemb.htm>.

5.2 Formação de micelas e entrada de nucleotídeos

Como comentado na Figura 14.6 os fosfolipídios de duas camadas podem se ligar para formar uma estrutura esférica chamada micela. Tal estrutura retém um meio aquoso em seu centro isolado do meio externo. A Figura 14.7 mostra os resultados de simulação computacional de dinâmica molecular para a formação de micelas e a entradas de nucleotídeos.

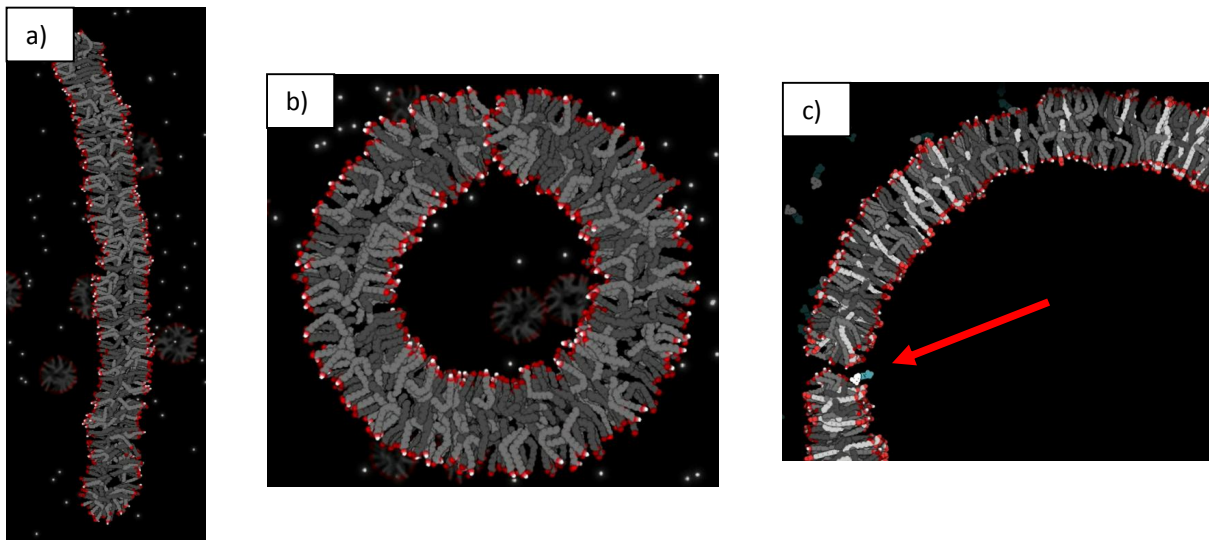


Figura 14.7: Simulação de dinâmica molecular. (a) Organização de fosfolipídios de duas camadas, que oscila podendo ligar-se com a outra ponta. (b) Formação de uma micela. (c) Entrada de nucleotídeos na micela (seta vermelha), através da camada de fosfolipídios. Fonte: <http://exploringorigins.org/fattyacids.html>.

6. Experimentos de astrobiologia no espaço

Experimentos de astrobiologia no espaço têm por objetivo verificar se compostos orgânicos ou até mesmo pequenos animais conseguem sobreviver às condições hostis à que são expostos. Nesta seção vamos apresentar alguns dos resultados de dois projetos, o Biopan e o Expose-E.

6.1 Biopan – ESA

O Biopan é um projeto da Agência Espacial Européia – ESA criado para investigar os efeitos do espaço em materiais biológicos. A Figura 14.8 mostra o local onde os materiais são depositados, que depois ficarão expostos às condições do espaço em órbita da Terra.

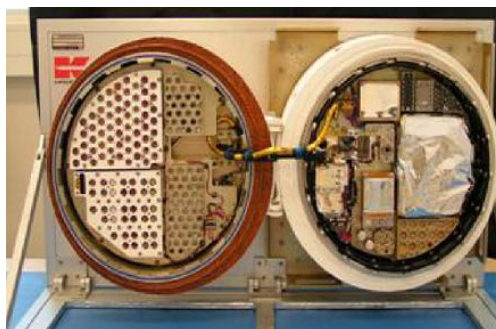


Figura 14.8: Local de deposição de material biológico. Quando a cápsula está em órbita, a tampa com o material é aberto para interagir com as condições espaciais. Fonte: <http://www.cnes.fr/>.

Até agora já foram feitas 6 missões de sucesso com o Biopan, investigando os efeitos do ambiente espacial sobre esporos de bactérias, líquens e animais pequenos como o tardígrado. As primeiras missões do Biopan investigaram os efeitos do espaço em esporos de bactérias do tipo *B. subtilis*, expondo-os à condições de temperatura entre -20 - $+12$ °C e várias doses de radiação durante vários dias. Os resultados revelaram que se os esporos ficam imersos no pó de meteorito artificial, as taxas de sobrevivência são

quase similares às amostras de controle. No caso em que os esporos são expostos sem nenhuma proteção, não há taxa significativa de sobrevivência.

Um estudo similar ao de esporos de bactérias, foi feito com líquens do tipo *Rhizocarpon geographicum*. A Figura 14.9 mostra o porta amostras com o líquen (verde). Os resultados mostraram que após serem submetidas às condições de altas temperaturas (~ 40 °C) e alto vácuo (3×10^{-4} Pa), em torno de 98 % das amostras apresentaram atividade sintética.



Figura 14.9: Porta amostras do Biopan com vários líquens, dentre eles o *Rhizocarpon geographicum* (verde). Fonte: Noetzel et al [5].

No entanto, o estudo mais surpreendente foi expondo o tardígrado às condições do espaço. O tardígrado pertence ao filo de pequenos animais segmentados, relacionados com os artrópodes. No Biopan foram testados dois tipos de tardígrados: o *Richtersius coronifer* e o *Milnesium tardigradum*. Devido à exposição os tardígrados desidratam-se para desligarem todos os seus sistemas e processos biológicos. Dessa forma, quando voltaram à Terra, conseguiram por ovos e viver mais 25 dias após a reidratação. No entanto, o tipo *Richtersius coronifer* conseguiu suportar apenas às condições de vácuo, não resistindo à radiação. Por outro lado, o tipo *Milnesium tardigradum* apresentou ótimos resultados de resistência em ambas as circunstâncias, como mostrado na Figura 14.10.

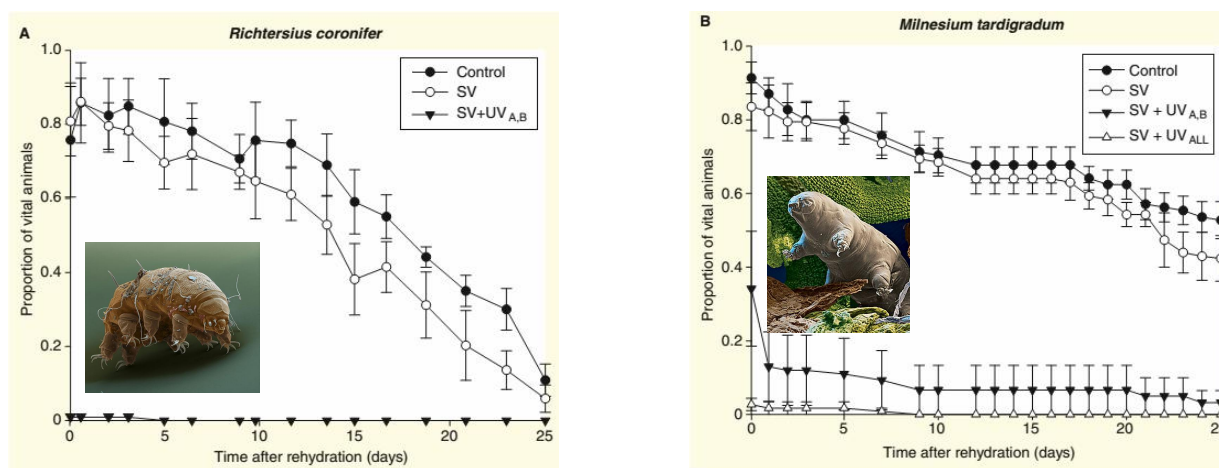


Figura 14.10: Proporção de sobrevivência de duas espécies de tardígrado quando expostos ao vácuo (SV) e ao vácuo e algumas partes radiação UV (UV_{A,B}) e a toda a faixa de radiação UV (UV_{ALL}). (a) Sobrevivência da espécie *Richtersius coronifer*. (b) Sobrevivência da espécie *Milnesium tardigradum*. Fonte: Jönsnson et al. [6].

6.2 Expose-E

O projeto Expose da Agência Espacial Européia – ESA tem por fim realizar experimentos de astrobiologia ao expor material químico e biológico às condições do espaço. O módulo com as amostras fica montado fora da Estação Espacial Internacional por longos períodos. O Expose-E foi lançado em

fevereiro de 2008 e ficou exposto até setembro de 2009 quando retornou à Terra. No espaço os materiais de interesse ficaram expostos ao vácuo espacial, radiação UV e radiação cósmica. Além disso, uma parte do material ficou exposta às condições de Marte num ambiente simulado. A Figura 14.11 mostra o porta amostras da Expose-E e seu encaixe na Estação Espacial Internacional.

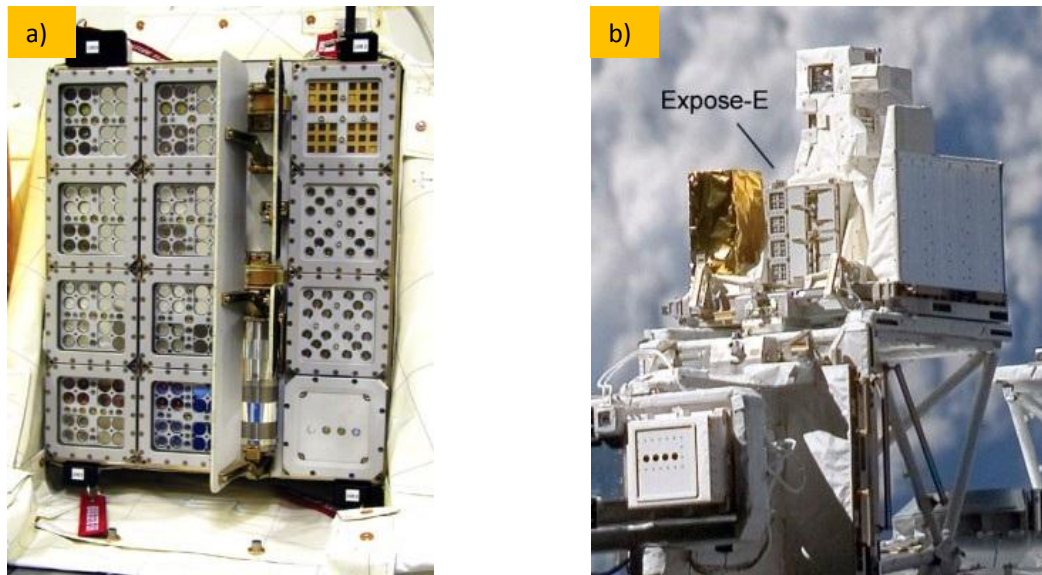


Figura 14.11: Imagens do módulo Expose-E. (a) Porta amostras do módulo Expose-E em laboratório. (b) Módulo Expose-E acoplado na Estação Espacial Internacional. Fonte: <http://astrobob.areavoices.com/tag/expose-e/>.

Os tópicos à serem investigados na missão Expose-E eram os seguintes, cujos os resultados serão mostrados à seguir:

- **Processo** – estudo dos efeitos da radiação UV solar sobre aminoácidos e outros compostos orgânicos na órbita terrestre;
- **Adaptação** – estudo da radiação sobre micro-organismos;
- **Proteção** – estudo de esporos nas condições do espaço e sua habilidade de recuperação após o período de exposição;
- **Vida** – estudo dos efeitos da radiação sobre líquens e cogumelos;
- **Sementes** – expor sementes às condições do espaço e estudar sua capacidade de resistência.

No tópico de processo, a Expose-E estudou os efeitos de radiação e vácuo sobre os aminoácidos em duas condições diferentes: misturado ou não em pó de meteorito. Os resultados são mostrados na Figura 14.12.

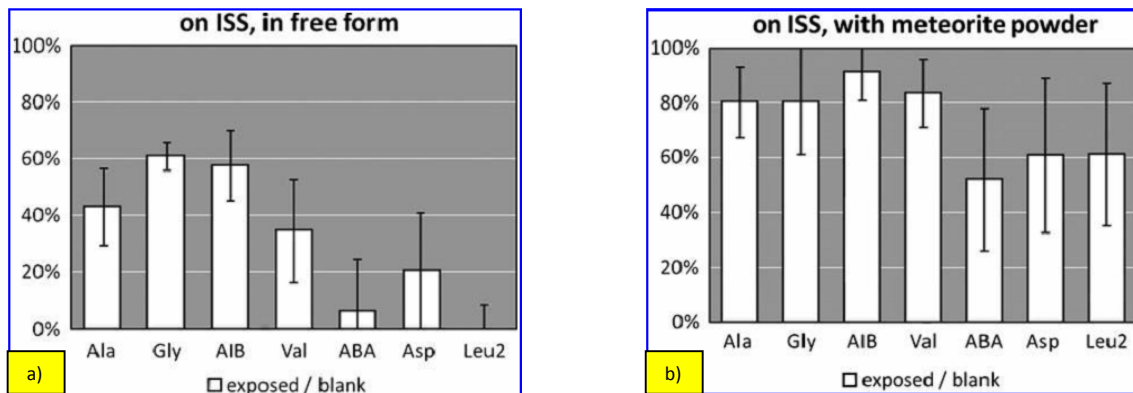


Figura 14.12: Estudo da degradação dos aminoácidos Alanina (Ala), Glicina (Gly), Ácido amino-isobutírico (AIB), Valina (Val), Ácido amino-n-butírico (ABA), Asparagina (Asp) e Leucina (Leu2) com o Expose-E. (a) Resultado para os aminoácidos sem nenhum tipo de proteção. (b) Resultado para os aminoácidos protegidos com pó de meteorito. É possível observar que a taxa de sobrevivência em (b) é maior que em (a). Fonte: Bertrand et al. [17].

No quesito de proteção, foram realizados experimentos com esporos de bactérias do tipo *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilis*. Esporos de bactérias têm grande importância para a astrobiologia, porque neste estado, as bactérias criam uma camada de proteção contra agentes físicos e químicos. Ainda na fase esporulada, as bactérias não realizam atividade Biosintética, como também reduzem sua respiração. Neste estado, a sobrevivência das bactérias chega à vários anos. No porta amostras, os esporos eram colocadas em camadas, uma sobre as outras, separadas por uma pequena distância em altura. Os resultados do experimento estão mostrados na Figura 14.13.

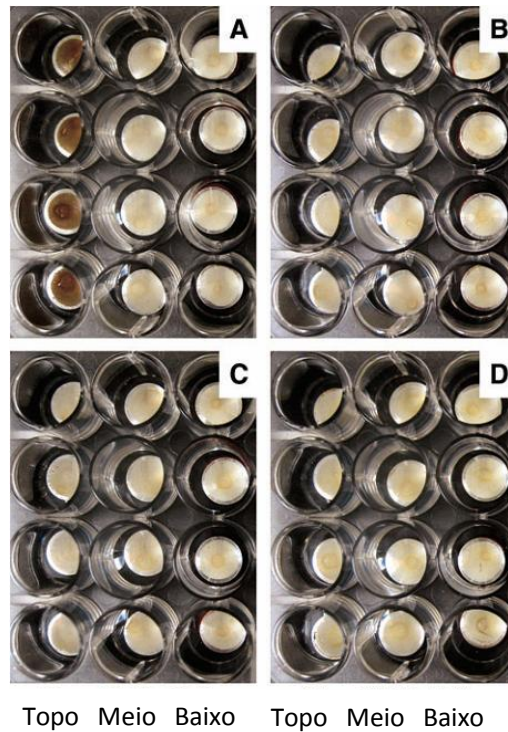


Figura 14.13: Foto das camadas dos esporos de *B. subtilis* após o período de exposição. (a) Simulação de uma viagem à Marte e exposição da radiação solar ($\lambda > 110$ nm). (b) Semelhante à (a), mas com a radiação solar atenuada em 99 %. (c) Simulação do ambiente de Marte e exposição à radiação solar ($\lambda > 200$ nm). (d) Semelhante à (c), mas com a radiação solar atenuada em 99 %. Fonte: Horneck et al. ^[8].

A mudança de cor nos esporos mostrados na Figura 14.13 representam a morte dos esporos. Contudo a taxa de sobrevivência das bactérias de *B. subtilis* foram consideradas altas. As taxas de sobrevivência foram: (a) cerca de 50 %, (b) cerca de 75 %, (c) 100 % e (d) 100 %.

Além de aminoácidos e esporos de bactérias, a Expose-E testou a resistência de sementes contra as condições do espaço. Foram testadas 2100 sementes do tipo *Arabidopsis thaliana*, que é uma planta com flor nativa da Europa e da Ásia, e de sementes do tipo *Nicotiana tabacum*, que é o tabaco. A Figura 14.14 mostra o porta amostras das sementes a bordo da Estação Espacial Internacional.

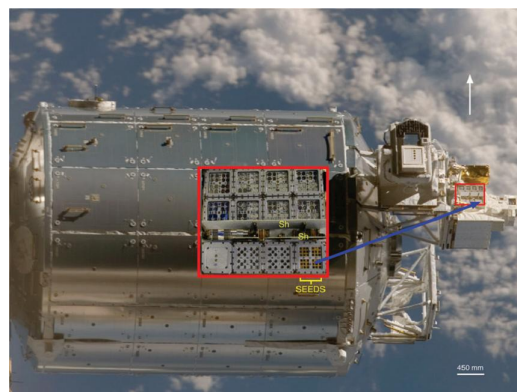


Figura 14.14: Sementes na Expose-E acoplada ao módulo Columbus da Estação Espacial Internacional. Fonte: Tepfer et al. ^[9].

Das 2100 sementes de *Arabidopsis thaliana* e *Nicotiana tabacum* (tobacco), 23% produziram plantas após retornarem à Terra. A maior sobrevivência foi do tabaco (44%). Aquelas sementes que foram protegidas contra a radiação solar, tiveram a germinação atrasada, mas houve 100% de sobrevivência, o que indica que as sementes poderiam sobreviver durante uma viagem hipotética de Marte para a Terra.

7. Conclusões

Foram mostrados durante este trabalho as duas principais teorias sobre a produção e/ou entrega de materiais orgânicos na Terra primitiva. Contudo, devido à propriedade da homoquiralidade molecular, a teoria da panspermia, ou da entrega exógena de material orgânico ganha mais força. Contudo, foi mostrado também que os resultados dos experimentos de Urey-Miller também são caminhos potenciais da produção de material orgânico, uma vez que mesmo adotando a presença de outros gases, a produção de aminoácidos e outros compostos é abundante.

Na questão sobre o debate da origem da vida na Terra ainda é um grande tópico a ser investigado e discutido. Porém, foram apresentados resultados da formação de micelas e como elas se organizam à partir de fosfolipídios em água. Resultados de simulações computacionais de dinâmica molecular reforçam a teoria do *Self-assembly*.

Foram mostrados também, com dados de experimentos espaciais do Biopan e da Expose-E que material orgânico como aminoácidos, material biológico como tardígrados e líquens, bem como esporos de bactérias e sementes podem sobreviver às condições hostis do espaço.

O conjunto da obra, portanto, reforça a ideia de que a vida pode ter aparecido já formada na Terra primitiva, ou mesmo reuniu condições para ser formada. Os resultados das pesquisas mostradas são muito importantes, porque são sentidos através de dados científicos de que a vida de fato evoluiu na Terra.

8. Referências:

- [1] Shaw, A. M. – **Astrochemistry – From astronomy to astrobiology**. Ed. John Wiley & Sons, Ltd, England, 2006.
- [2] Miller, S. L. – **A production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions**. 1953, Science, Vol. 117, pp. 528.
- [3] Martins, Z., Botta, O., Fogel, M. L. et al. – **Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite**. 2008, EPSL, Vol. 270, pp. 130.
- [4] Callahan, M. P., Smith, K. E., Cleaves II, H. J. et al. – **Carbonaceous meteorites contain a wide range of extraterrestrial nucleobases**. 2011, PNAS, Vol. 108, pp. 13995.
- [5] de la Torre Noetzel, R., Sancho, L. G., Pintado, A. et al. – **BIOPAN experiment LICHENS on the Foton M2 mission Pre-flight verification tests of the Rhizocarpon geographicum-granite ecosystem**. 2007, ASR, Vol. 40, pp. 1665.
- [6] Jönsson, K. I., Rabbow, E., Schill, R. O. et al. – **Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit**. 2008, Current Biology, Vol. 18, pp. R729.
- [7] Bertrand, M., Chabin, A., Brack, A. et al. - **The PROCESS Experiment: Exposure of Amino Acids in the EXPOSE-E Experiment on the International Space Station and in Laboratory Simulations**. 2012, Astrobiology, Vol. 12, pp. 426.
- [8] Horneck, G., Moeller, R., Cadet, J. et al. - **Resistance of Bacterial Endospores to Outer Space for Planetary Protection Purposes—Experiment PROTECT of the EXPOSE-E Mission**. 2012, Astrobiology, Vol. 12, pp. 445.
- [9] Tepfer, D., Zalar, A. & Leach, S. - **Survival of Plant Seeds, Their UV Screens, and nptII DNA for 18 Months Outside the International Space Station**. 2012, Astrobiology, Vol. 12, pp. 517.