

# VIDA NO UNIVERSO



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Reitor*  
*Vice-reitor*

Vahan Agopyan  
Antonio Carlos Hernandez



EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Diretor-presidente*

Lucas Antonio Moscato

*Presidente*

COMISSÃO EDITORIAL

Rubens Ricupero

*Vice-presidente*

Valeria De Marco

Carlos Alberto Ferreira Martins

Clodoaldo Grotta Ragazzo

Maria Angela Faggin Pereira Leite

Ricardo Pinto da Rocha

Tânia Tomé Martins de Castro

*Suplentes*

José Roberto Castilho Piqueira

Marta Maria Geraldês Teixeira

Sandra Reimão

*Editora-assistente*

Carla Fernanda Fontana

*Chefe Div. Editorial*

Cristiane Silvestrin

# VIDA NO UNIVERSO

José A. de Freitas Pacheco

Ficha catalográfica elaborada pela  
Associação Brasileira de Editoras Universitárias (Abeu)

---

Pacheco, José A. de Freitas.

Vida no Universo / José A. de Freitas Pacheco. – São Paulo:  
Editora da Universidade de São Paulo, 2020.

232 p.; il.; 16 × 23 cm. – (Coleção Acadêmica, 104)

Inclui ilustrações e fotos.

Inclui lista de símbolos e constantes astronômicas.

ISBN 978-85-314-1778-8

1. Astronomia. 2. Astrobiologia. 3. Exoplanetas. I. Título.

CDD-523.1

---

Direitos reservados à

Edusp – Editora da Universidade de São Paulo  
Rua da Praça do Relógio, 109-A, Cidade Universitária  
05508-050 – São Paulo – SP – Brasil  
Divisão Comercial: Tel. (11) 3091-4008 / 3091-4150  
www.edusp.com.br – e-mail: edusp@usp.br

Printed in Brazil 2020

Foi feito o depósito legal

# SUMÁRIO

Símbolos e Constantes Astronômicas .....	9
Prefácio .....	11
1. Os Exoplanetas .....	17
1.1 A Detecção de Exoplanetas .....	17
1.2 Estatísticas sobre Exoplanetas.....	28
1.3 Características Físicas .....	32
1.4 Comparação com Planetas do Sistema Solar .....	40
1.5 A Habitabilidade dos Exoplanetas.....	44
2. A Formação do Sistema Solar e de Exossistemas Planetários ..	55
2.1 Prelúdios .....	55
2.2 A Evolução Físico-Química dos Discos Protoplanetários.	64
2.3 Teorias Recentes de Formação Planetária: O Mecanismo “Vai e Vem” .....	69
2.4 O Modelo de Nice.....	75
2.5 A Origem dos Oceanos Terrestres.....	77

3. As Origens da Vida na Terra .....	83
3.1 Um Breve Histórico .....	83
3.2 O Que é a Vida? .....	88
4. Abiogênese .....	99
4.1 A Terra Primitiva .....	99
4.2 Evidências de Vida Primitiva na Terra .....	104
4.3 O Ancestral Comum .....	107
4.4 Os Vírus .....	115
4.5 A Fase Pré-biótica .....	117
5. Vida em Outros Planetas? .....	131
5.1 Vida em Marte? .....	136
5.2 Vida em Europa? .....	142
5.3 Vida em Titã? .....	147
5.4 Vida em Encélado? .....	153
5.5 Vida em Exoplanetas? .....	158
6. Vida no Universo .....	169
6.1 Breve Introdução .....	169
6.2 Simulando o Universo .....	172
6.3 Quando Surgiram os Primeiros Planetas Rochosos? .....	178
7. Considerações Finais: Supercivilizações na Galáxia? .....	181
Apêndice .....	189
A.1 A Velocidade Projetada .....	189
A.2 Profundidade dos Eclipses de Trânsito .....	190
A.3 A Pressão de Schrödinger .....	191
A.4 Equação de Estado e Modelos de Planetas .....	193
A.5 Atmosferas Planetárias .....	196
A.6 O Número de Exoplanetas na Galáxia .....	202
A.7 O Disco Protoplanetário do Sistema Solar .....	204
A.8 Eras Geológicas .....	206
Referências Bibliográficas .....	209
Sobre o Autor .....	219

## SÍMBOLOS E CONSTANTES ASTRONÔMICAS

Para facilitar a leitura, apresentamos a seguir uma série de símbolos e de constantes astronômicas comumente utilizadas nesta obra e na literatura em geral.

<i>Grandeza</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Observações</i>
Unidade astronômica	au	$149,6 \times 10^6$ km	Distância média entre a Terra e o Sol.
Parsec	pc	$30,857 \times 10^{12}$ km	Distância na qual 1 au subtende um ângulo plano de 1" (um arcosegundo).
Ano-luz	a.l.	$9,461 \times 10^{12}$ km 0,3066 pc	Distância percorrida pela luz em um ano (365,25 d).
Massa do Sol	$M_{\odot}$	$1,989 \times 10^{30}$ kg	
Raio do Sol	$R_{\odot}$	695 700 km	
Massa da Terra	$M_{\oplus}$	$5,9737 \times 10^{24}$ kg	
Raio da Terra	$R_{\oplus}$	6 371 km	
Massa de Júpiter	$M_J$	$317,82 M_{\oplus}$	
Raio de Júpiter	$R_J$	$11,209 R_{\oplus}$	

Unidades de pressão e temperatura.

<i>Símbolo</i>	<i>Nome</i>	<i>Valor (SI)</i>	<i>Observações</i>
Pa	pascal	1 N/m <sup>2</sup>	Unidade SI de pressão
bar	bar	10 <sup>5</sup> Pa	
atm	atmosfera padrão	101 325 Pa	
K	kelvin		Unidade SI de temperatura. Para encontrar o valor em grau Celsius (°C), subtrair 273,15 do valor da temperatura em kelvin.



## PREFÁCIO

Graças ao fantástico desenvolvimento tecnológico alcançado nos últimos anos, técnicas diversas têm permitido aos astrônomos, seja com instrumentos no solo, seja no espaço, detectar planetas fora do Sistema Solar. Em outras palavras, planetas que orbitam outras estrelas. Segundo o catálogo de exoplanetas mantido pelo Observatório de Paris, até 26 de setembro de 2017, o número de planetas detectados era de 3 671 e novas descobertas continuam sendo feitas em um ritmo crescente.

Com a profusão desses novos exoplanetas, surge naturalmente a questão da possível existência de formas de vida que, porventura, possam habitá-los. A descoberta de micro-organismos extremófilos em ambientes terrestres inóspitos, nos quais supúnhamos, ainda em um passado recente, a inexistência de toda e qualquer forma de vida, alterou o nosso conceito de habitabilidade dos mundos. Assim, não está totalmente descartada a possibilidade da existência de formas de vida extraterrestre mesmo no Sistema Solar. A descoberta de fontes de metano localizadas na superfície do planeta Marte – gás que pode resultar de uma atividade biológica e de depósitos salinos, em consequência de um processo de evaporação que sugere a presença de

água líquida com forte concentração salina (o que impede seu congelamento nas temperaturas marcianas) – é indício de que o planeta poderia abrigar organismos extremófilos. Do mesmo modo, indícios da presença de um oceano situado abaixo da crosta gelada de Europa, um dos satélites de Júpiter, descoberto por Galileu Galilei em 1610, credenciam esse astro como outra localidade onde formas de vida extremófilas poderiam existir no Sistema Solar.

A questão de saber se a Terra é um caso único ou banal no Universo é debatida desde a Antiguidade, embora muitas vezes em um contexto meramente religioso. Por exemplo, o budismo fala da “transmigração” de almas através das estrelas, da Lua e do Sol, antes de atingirem o nirvana. No apogeu da civilização grega, vários filósofos admitiam que a Terra não era o único mundo habitado no Universo. Segundo Epicuro, “não somente o número de átomos é infinito, mas também o número de mundos, que podem ser semelhantes ou diferentes do nosso”. Heráclito e diversos discípulos de Pitágoras consideravam que, como o Sol, “cada estrela é o centro de um sistema planetário”. Na concepção de Heráclito, a Terra gira em torno de si mesma, mas encontra-se no centro do Universo, embora Vênus e Mercúrio girem em torno do Sol. Essa concepção – um tanto esdrúxula do cosmos – seria retomada séculos depois pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe. Metrodoro de Lâmpsaco, o Jovem, acreditava na pluralidade dos mundos habitados e, segundo ele, pretender que nosso planeta fosse o único habitado no Universo seria uma ideia tão absurda quanto afirmar que “num vasto campo de trigo somente uma espiga se desenvolve”. Anaxágoras acreditava que “a Lua, iluminada pelo Sol, fosse habitada” e que “germens de vida”, dispersos por todo o Universo, seriam responsáveis pela presença de seres vivos em outros mundos. Temos aqui formulada a ideia da panspermia, que seria desenvolvida muito mais tarde, nos séculos XIX e XX.

No segundo século de nossa era, Cláudio Ptolomeu, astrônomo e matemático de Alexandria, compilou os conhecimentos astronômicos adquiridos até então em sua obra *Composição Matemática*, divulgada pelos árabes como *Almagesto* (O Grande Tratado). O sistema geocêntrico descrito nessa obra dominou a astronomia ocidental por quase dez séculos. A Igreja cristã, prevalecente no Ocidente, faria da Terra o centro do Universo, impedindo o desenvolvimento e a di-

vulgação de ideias relacionadas à multiplicidade dos mundos e à sua habitabilidade.

Somente na Renascença, com Nicolau Copérnico, conhecedor da cosmogonia de Aristarco de Samos, a concepção heliocêntrica foi retomada e colocada sobre bases mais sólidas. O sistema desenvolvido por Copérnico explicava a sucessão dos dias e das noites pela rotação da Terra, colocava a Lua a orbitar a Terra, agora não mais no centro do Universo, e explicava de forma natural por que o movimento de Marte era aparentemente retrógrado de tempos em tempos. Posteriormente, com as observações telescópicas de Galileu das fases de Vênus e a descoberta dos satélites de Júpiter, o sistema copernicano recebeu forte apoio observacional. Apesar do terror instaurado pela Santa Inquisição, o pensador dominicano Giordano Bruno, inspirado por trabalhos de Copérnico e de Nicolau de Cusa, defendeu o heliocentrismo e desenvolveu diferentes conceitos: em um Universo infinito não existe nenhum astro ocupando o centro, pois o espaço se estende igualmente em todas as direções; existem infinitos sóis com planetas ao seu redor, como os sete planetas (conhecidos na época) que giram em torno do nosso Sol e, mais ainda, seres vivos habitariam esses planetas. As concepções de Bruno influenciaram profundamente Johannes Kepler e Galileu. Infelizmente, como se sabe, Bruno pagou com a vida a propagação de suas ideias, não somente relacionadas a sua concepção do Universo, mas também de caráter teológico, consideradas heréticas pela Inquisição.

Em 1686, o escritor francês Bernard le Bovier de Fontenelle publicou o livro *Entretiens sur la pluralité des mondes* (Conversas sobre a pluralidade dos mundos), no qual afirmou que a Terra era um planeta que girava em torno de si mesmo e que orbitava o Sol, que a Lua era uma Terra habitada e que os demais planetas eram igualmente habitados. Para Fontenelle, os habitantes da Lua viviam abaixo da superfície, o que explicaria as crateras observadas na superfície lunar, que teriam sido perfuradas por habitantes de um mundo subterrâneo. Algum tempo depois, o matemático, físico e astrônomo Christiaan Huygens, tendo descoberto a similaridade entre a duração das rotações de Marte e da Terra, considerou esse fato uma razão da habitabilidade do primeiro. Essas ideias influenciariam mais tarde o filósofo alemão Immanuel Kant, que afirmou não haver necessidade

de defender a habitabilidade de todos os planetas, pois negá-la seria um absurdo. Em 1862, o astrônomo e divulgador de ciências Camille Flammarion publicou *La pluralité des mondes habités* (A pluralidade dos mundos habitados), em que afirmou que a vida é o objetivo final da existência de planetas no Universo. A obra despertou enorme interesse do público e, somente na França, trinta edições foram publicadas em apenas vinte anos.

Em 1870, dois eminentes cientistas, Hermann von Helmholtz e William Thomson, conhecido como lorde Kelvin, retomaram as ideias de Anaxágoras, propondo que “sementes de vida” foram transportadas por meteoritos, não somente para a Terra mas por todo o Universo. Quarenta anos depois, o químico sueco Svante Arrhenius denominou como “panspermia” a teoria de acordo com a qual a vida na Terra teve origem extraterrestre, oriunda de esporos provenientes de planetas nos quais se desenvolveu anteriormente. Nos anos 1950, essa teoria foi revista e modificada pelo astrofísico inglês Fred Hoyle.

No entanto, no fim do século XIX, o tema mais controverso concerne à presença de seres inteligentes em Marte. O astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli, após observar por anos esse planeta, publicou em 1893 o livro *Il Pianeta Marte* (O Planeta Marte), no qual afirmou que Marte não era um deserto, mas sim um astro no qual a vida se manifestava por meio de fenômenos complexos, como a variação periódica de sua calota polar, correspondente às estações do ano marciano. Segundo Schiaparelli, o clima de Marte era similar ao clima encontrado nas altas montanhas terrestres, ou seja, quente durante o dia e frio durante a noite. O mais estranho seriam as zonas escuras atravessadas por bandas retilíneas denominadas por Schiaparelli de *canali* (“canais”), expressão utilizada anteriormente pelo jesuíta e astrônomo Pietro Angelo Secchi. Essas afirmações levaram o norte-americano Percival Lowell a construir, em 1894, um observatório em Flagstaff, Arizona, Estados Unidos, dedicado à observação de Marte. Do ponto de vista de Lowell, as zonas escuras seriam “bandas de vegetação” fertilizadas por canais que transportavam água das calotas polares quando se fundiam. Usando suas palavras, “foram os engenheiros de Marte que construíram os canais, com o objetivo de irrigar um mundo sedento”. Camille Flammarion se ocupou igualmente da questão em seu livro publicado em 1892, *La planète Mars* (O

Planeta Marte), em que afirmou que esse planeta seria habitado por seres similares aos humanos, porém com uma civilização mais antiga e mais avançada do que a nossa. Todo o frenesi causado por esses debates estimulou o escritor inglês H. G. Wells a escrever um clássico da literatura de ficção científica, *A Guerra dos Mundos*, no qual marcianos belicosos invadem a Terra. Alimentando-se de sangue humano, acabam sendo destruídos por bactérias presentes na atmosfera. A obra influenciou o cineasta norte-americano Orson Welles, então radialista da rede CBS, a noticiar, em 1938, a invasão da Terra por marcianos, o que causou um enorme pânico entre os ouvintes desse programa.

A breve, portanto incompleta, retrospectiva apresentada demonstra preocupação constante com a questão da habitabilidade dos mundos no decorrer da história de nossa civilização. No entanto, uma mudança radical ocorreu no fim do século XX com a descoberta do primeiro exoplaneta. O que antes era um pressuposto acabou se tornando um fato científico inegável. A existência de mundos fora do Sistema Solar abriu o caminho para novos campos interdisciplinares como a astrobiologia, a planetologia, entre outros, possibilitando que as pesquisas sobre a vida extraterrestre seguissem sobre bases mais sólidas.

Respostas para certas questões há muito incrustadas em nosso inconsciente, como “de onde viemos?” ou “estamos sós no Universo?”, ainda não existem. No entanto, temos hoje uma quantidade considerável de novas informações em diferentes campos correlatos do conhecimento, que permitem explorar diferentes caminhos com mais segurança. Esse é o objetivo desta obra, apresentar ao leitor esses novos campos de pesquisa que, talvez em um futuro não muito distante, possam nos dizer se a vida floresce ou não no Universo.

Este livro está organizado do seguinte modo: inicialmente, são apresentados os exoplanetas e mencionadas as técnicas de detecção, suas propriedades físicas, a enorme diversidade desses mundos, bem como questões de habitabilidade e teorias de formação. Para facilitar a leitura, foram incluídos apêndices explicativos. A segunda parte engloba questões sobre a origem da vida em si e, em particular, na Terra, bem como sua possível emergência em todo o Universo. Finalmente, algumas considerações serão feitas sobre a possível existência de supercivilizações na Galáxia.

LANÇAMENTO 2020

# JÁ DISPONÍVEL

LIVRARIA VIRTUAL

[www.edusp.com.br/loja](http://www.edusp.com.br/loja)

LIVRARIAS

[www.edusp.com.br/livrarias](http://www.edusp.com.br/livrarias)

INFORMAÇÕES

Divulgação Edusp

[divulga@usp.br](mailto:divulga@usp.br)

