



Universidade Federal do ABC

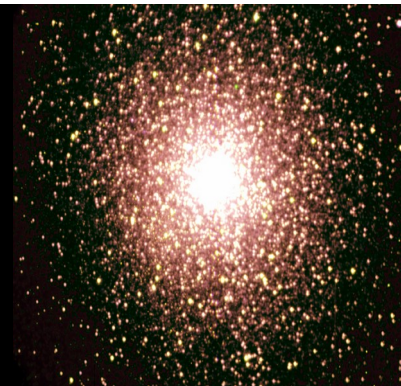
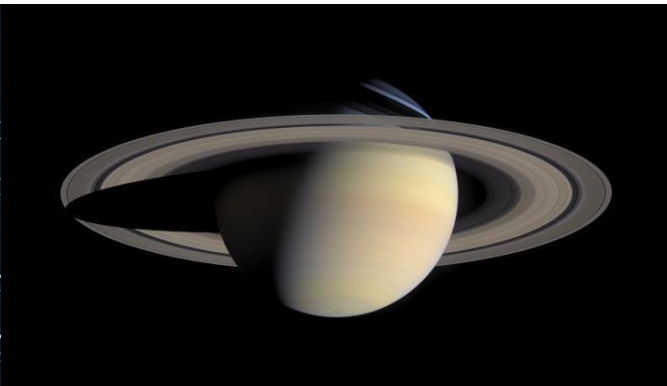
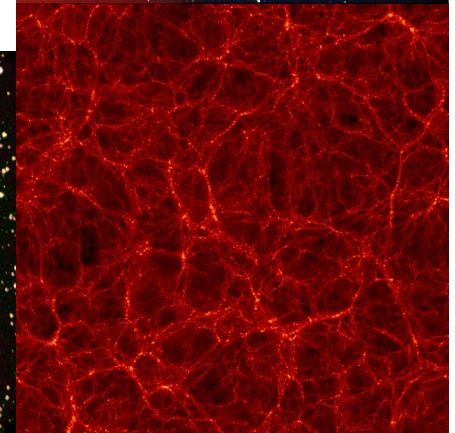
Noções de Astronomia e Cosmologia

17. Astrobiologia

Prof. Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Astro.html>



Astrobiologia (ou Exobiologia)

Do grego: αστρον (astron), "constelação, astros"; βιος (bios), "vida" e λογια (logia), "ciência".

Wikipedia: É o **estudo** da **origem**, **evolução**, **distribuição**, e o **futuro** da **vida** no **Universo**.

Astrobiologia

Uma ciência **interdisciplinar** que utiliza:

Física

Química

Astronomia

Biologia

Microbiologia

Ecologia

Biologia molecular

Geologia

Paleontologia

Meteorologia

=> Perfeita pra UFABC

Na UFABC, temos a disciplina Astrobiologia, dada pelo prof. da biologia Jiří Borecký.



Os “pilares de criação”

O que é Vida?

=> disciplina Evolução e Diversificação da Vida na Terra
(também conhecida como Origem da Vida)

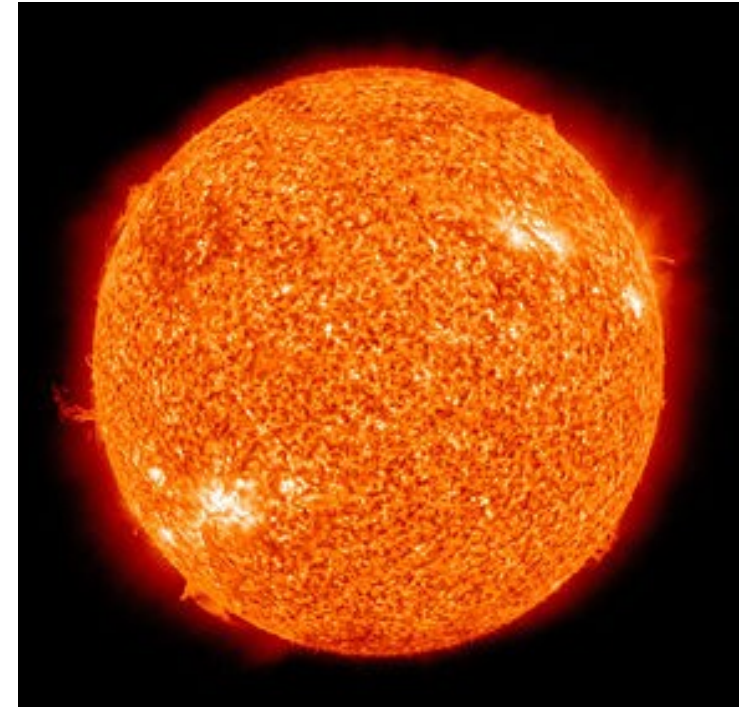
A maioria das definições de vida contêm:

- **Metabolismo**: transformação de substâncias no interior
- **Reprodução**: capacidade de gerar entidades semelhantes a si própria
- Frequentemente entram conceitos como **desenvolvimento**, **crescimento**, **resposta a estímulos**, **evolução**, etc.

O que é Vida?

Uma estrela é viva, então?

- Ela faz fusão nuclear, isto é, “metabolismo”
- Expele material que é incorporado em novas estrelas, “se reproduz”
- E para os demais conceitos também há análogos estelares

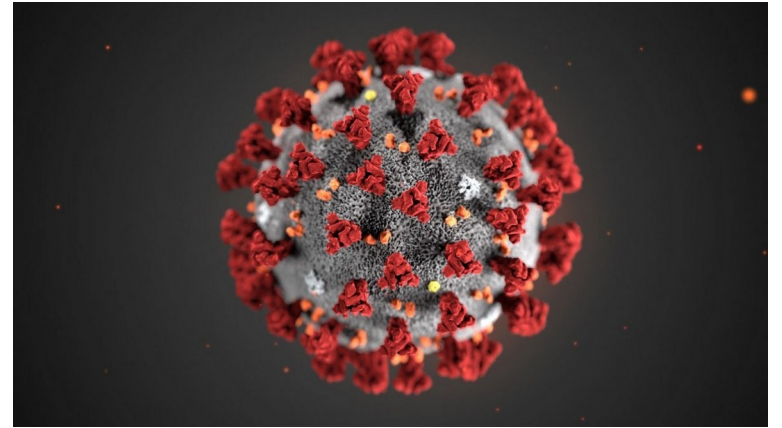


Mas maioria de nós não considera as estrelas vivas.

Será que tem algo a ver com “ter **consciência**” ou “**vontade própria**”?

O que é Vida?

Um vírus (e outros micro-organismos) tem consciência, ou está só executando seu programa genético?
E plantas?



Uma nuvem de insetos movimentando-se em sintonia tem quanto de consciência?



O que é Vida?

Wikipedia: Muitos **filósofos** tentam definir a **vida** como um "fenômeno que **anima** a matéria".

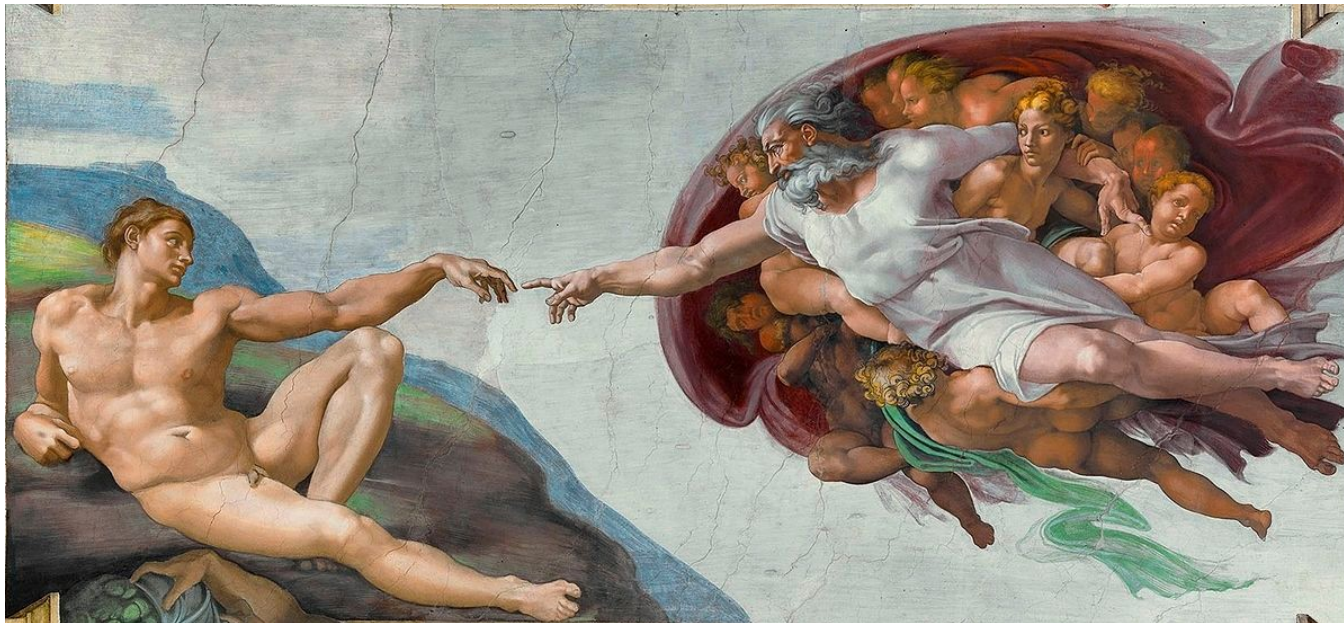
Para mim, isto só transforma o problema de definir "vida" para definir "animar".

Sugestão minha: Vida é o que faz com que uma entidade (um ser vivo) **não segue** passivamente as **leis** da **física**.

Como surgiu a Vida na Terra?

De novo, vide Evolução e Diversificação da Vida na Terra:

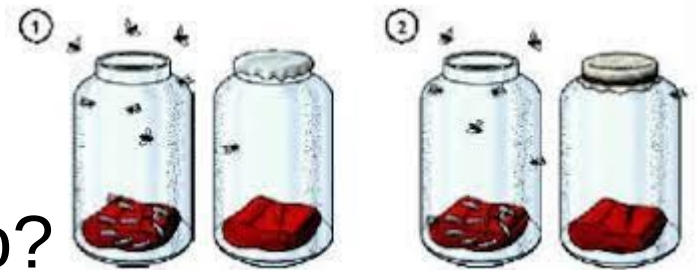
- Criada por uma **entidade supernatural, religião, criacionismo, “*intelligent design*”**: Nada testável



Como surgiu a Vida na Terra?

De novo, vide Evolução e Diversificação da Vida na Terra:

- **Biogênese**: seres vivos provêm apenas de **outros seres vivos**, mas de onde veio o primeiro ser vivo?



- **Abiogênese**: o estudo sobre a origem da vida **a partir** de **matéria não viva**: descartado, mesmo assim, em algum momento deve ter surgido vida onde não tinha antes.

Versão não totalmente descartada ainda: **Abiogênese química** (Darwin, Haldane e Oparin): Vida surgiu a partir de **moléculas orgânicas** e **energia** (radiação solar, raios, vulcanismo / fontes térmicos ...)

Como surgiu a Vida na Terra?

De novo, vide Evolução e Diversificação da Vida na Terra:

- **Panspermia**: A vida na Terra veio de fora:

Obviamente uma teoria interessante para a astrobiologia, mas:

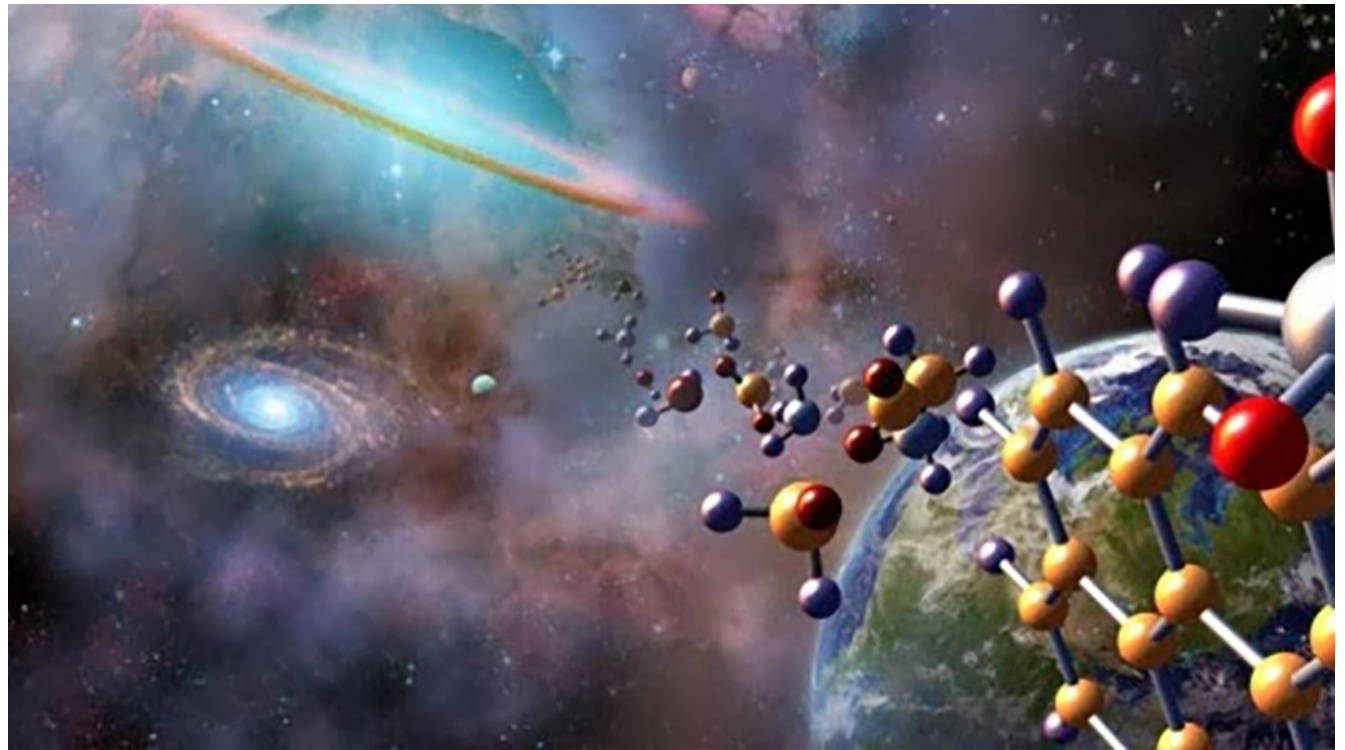
- só transfere o problema de ter que explicar o surgimento da vida para outro lugar,
- e é difícil imaginar, como esta vida de fora teria sobrevivido à chegada na Terra



Como surgiu a Vida na Terra?

De novo, vide Evolução e Diversificação da Vida na Terra:

- **Neopanspermia**: Não seres vivos, mas **biomoléculas complexas** vieram do **espaço**, e **evoluíram** para **organismos** por **abiogênese química**.



Como surgiu a Vida na Terra?

De novo, vide Evolução e Diversificação da Vida na Terra:

- De fato, se acha **material orgânico** em **meteoritos**, **asteroides**, **cometas** e até no **meio interestelar** (vide em breve, e nas aulas sobre os corpos menores do Sistema Solar e o Meio Interestelar)



Meteorito de Murchison (=> aula Corpos Menores do Sistema Solar): mais de 92 aminoácidos

Condições para Vida surgir

Carbono (C)

- 4º elemento **mais abundante** no Universo
- **Tetravalente**
- **Comprimento de ligação C-C** em cadeias é 154 pm (sp^3-sp^3) - **menor** que $2 \times$ **raio atômico** (91 pm)
 - **catenação forte**
- Camada de valência é a menos difusa
 - possibilidade de fazer **ligação π longa**
- **Eletronegatividade média**
 - Carbono se **liga** covalentemente com **muitos outros elementos**:
 - Não-metais - H, N, O, P, S, Se, halogênios
 - Metais de transição - Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn
 - Metais alcalinoterrosos - Mg

6	12.011
C	
Carbono	

Condições para Vida surgir

Água (H₂O)

H: elemento **mais abundante** no Universo

O: **3º** elemento **mais abundante** no Universo

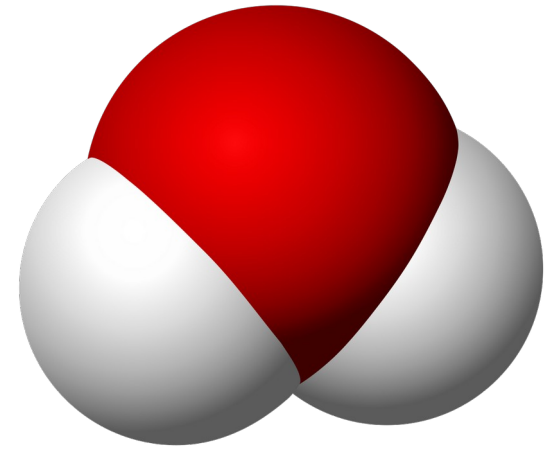
- Molécula **polar, solvente** “universal”:

ajuda as células a **transportar e utilizar** substâncias como **oxigênio** ou **nutrientes**.

- Faz “pontes de hidrogênio”, **coesão**:

Também contribui na **estabilidade** de **células** e suas **membranas**, na **formação** de **cadeias** de **aminoácidos** e **proteínas**,

ajuda em várias **reações químicas** importantes pra vida e mais



Condições para Vida surgir

Alternativas

A **carbono**:

Enxofre (S), Silício (Si), Arsênio (As), Boranos (B_xH_y):
Mas na maioria **menos quimicamente versátil** que C,
e todos são **menos abundantes** no Universo

A **água**:

Amônia (NH_3), Fluoreta de Hidrogênio (HF), Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), dióxido de silício (SiO_2):
Nenhum destes solventes tem **todas as propriedades** que tornam a água **importante** pra **vida**.

=> **Vida** baseada em **carbono** e **água** parece **o mais viável**.

Condições para Vida surgir

Astroquímica

Table 5.1 Interstellar and circumstellar molecules* (Erhenfreund (2000))

Number of Atoms										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N?	HC ₉ N	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HCOOCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO		
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH?	(CH ₃) ₂ O	NH ₂ CH ₂ COOH?		
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	HCOCH ₃	H ₂ C ₆	HC ₇ N			
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₃ OH	NH ₂ CH ₃		C ₈ H			
CN	HCO	CH ₂ D ⁺ ?	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O					
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺						
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO						
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO						
CSi	H ₂ O	HNCS	H ₂ CHN	C ₅ N						
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄							
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺							
NaCl	N ₂ H ⁺	NH ₃								
OH	N ₂ O	SiC ₃								
PN	NaCN									
SO	OCS									
SO ⁺	SO ₂									
SiN	c-SiC ₂									
SiO	CO ₂									
SiS	NH ₂									
CS	H ₃ ⁺									
HF										

somente 12 elementos detectados:

H, C, N, O, S, Si, P, F, Cl, Al, Na, Mg,

sendo os

C, H, O e N mais abundantes (CHON)



Nebulosa de Orion

M42 (and M43) © Anglo-Australian Observatory Photo by David Malin

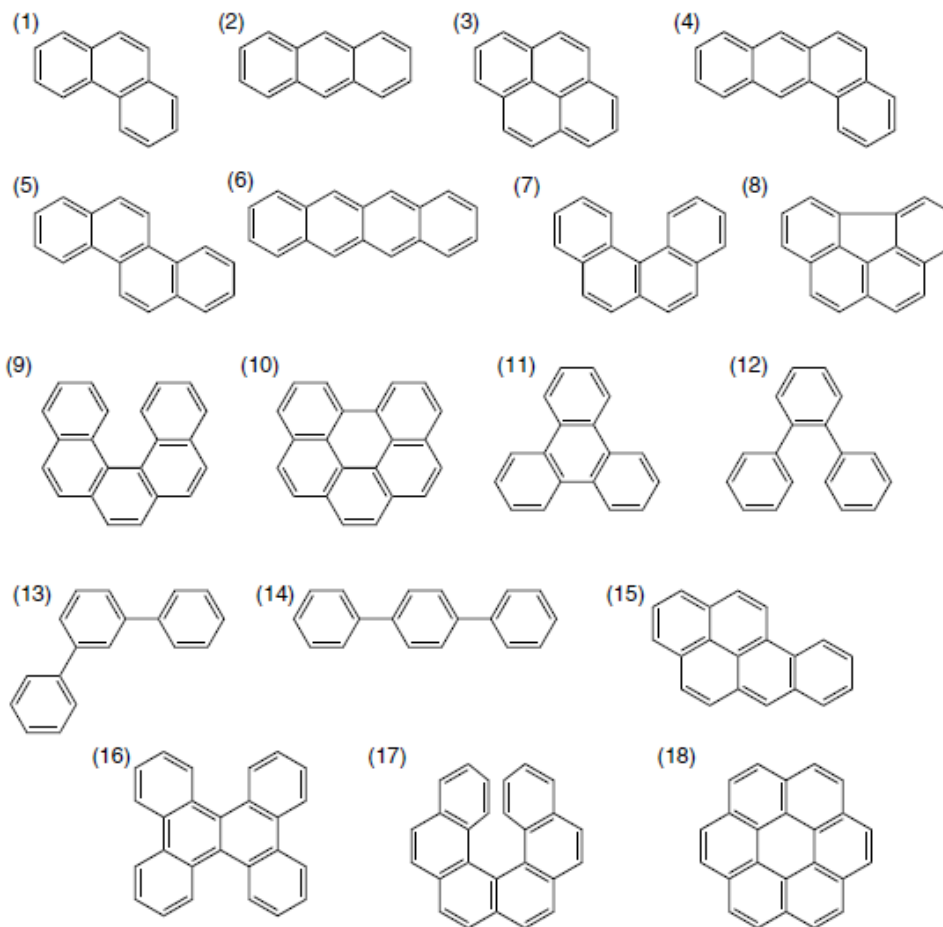
*A database of interstellar and circumstellar molecules is maintained at <http://www.cv.nrao.edu/~awooten/allmols.html> by A.L. Wootton with the current total at 129 (at time of going to press).

Condições para Vida surgir

Astroquímica

Hidrocarbonetos poliaromáticos (polyaromatic hydrocarbons - PAHs)

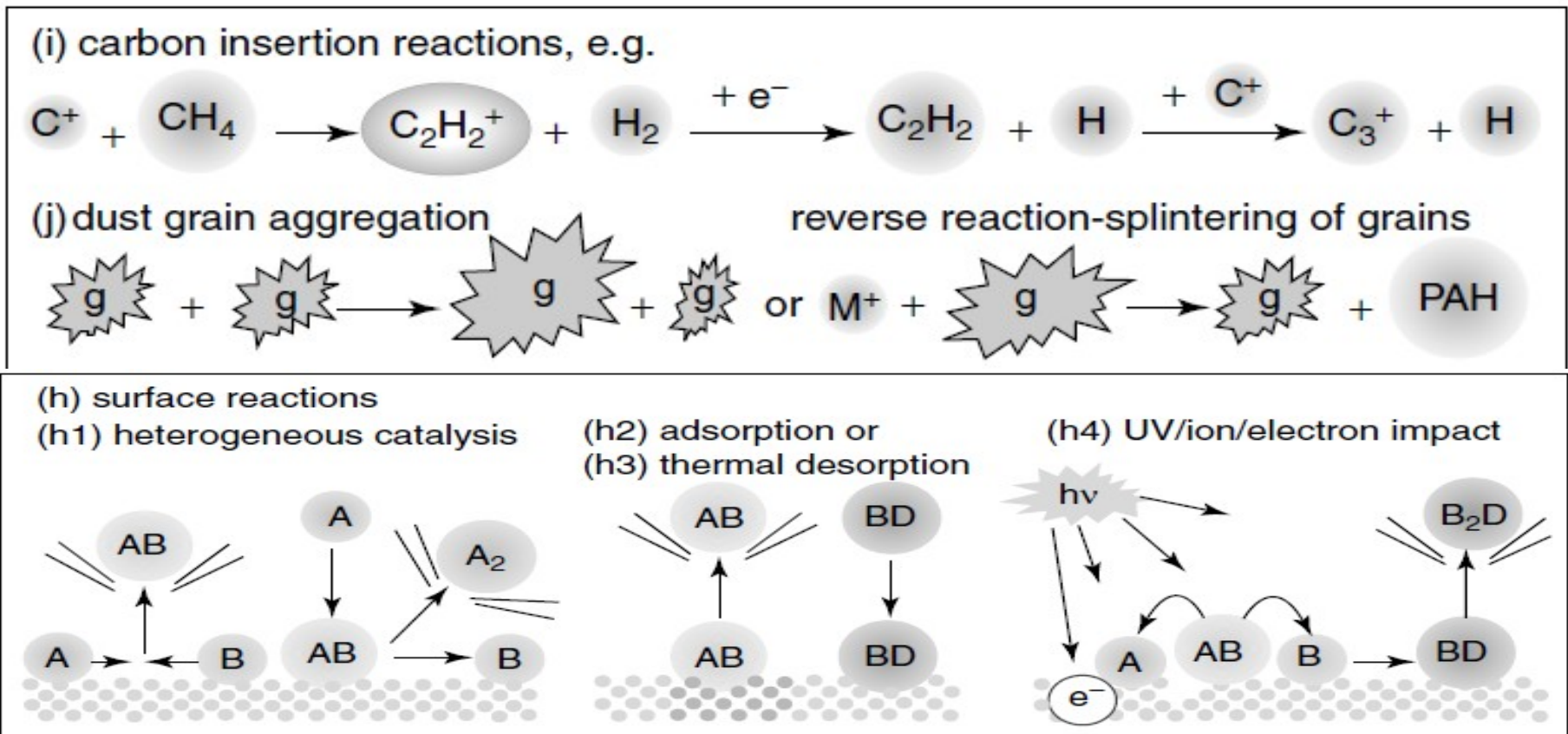
- (1) phenantreno
- (2) antraceno
- (3) pyreno,
- (4) benz[a]antraceno
- (5) criseno
- (6) naftaceno
- (7) benzo[c]fenantreno
- (8) benzo[g]-fluorantreno
- (9) dibenzo[c,g]fenantreno
- (10) benzo[g]perilene
- (11) trifenileno
- (12) o-terfenil
- (13) m-terfenil
- (14) p-terfenil
- (15) benzo[a]pireno
- (16) tetrabenzonaftaleno,
- (17) fenantro[3,4-c]fenanthreno
- (18) coronene



Condições para Vida surgir

Astroquímica

- i) reação tipo íon-molécula que leva à produção de **polímeros orgânicos**
- j) junção dos compostos concentrados aderidos nas **partículas de poeira** permitem **reações diferentes** da fase **gasosa** (podem ser assistidos fotoquimicamente)
 - energia de ativação das reações neutras fica menor

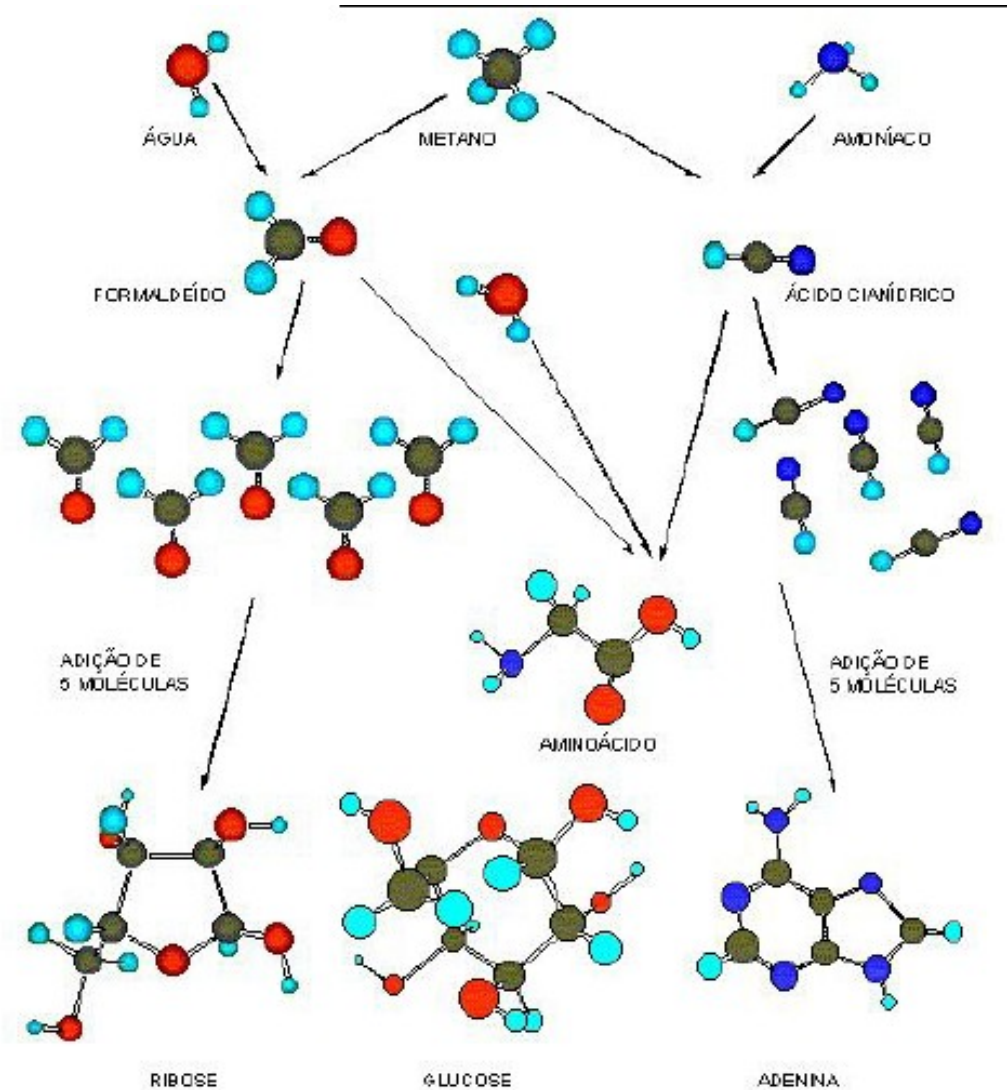


Condições para Vida surgir

Astroquímica

Possíveis origens de **bases e açúcares** a partir de moléculas pequenas de:

- **Água**
- **Metano**
- **Amonia**



Condições para Vida surgir

Astroquímica

O **Meteorito Murchison** (Austrália 1969) é um **condrito carbonáceo** que contém cerca de 2% de **carbono** na forma de:

- carbonatos inorgânicos
- **compostos orgânicos (aminoácidos)**
- **hidrocarbonetos** de C-15 a C-30
- **hidrocarbonetos policíclicos aromáticos**
- cetonas heterociclos com nitrogênio e enxofre
- **adenina, guanina, uracila, xantina e hipoxantina**

Extrações ácido-base dos condritos mostraram a formação de **coacervados**

– aglomerados de moléculas proteicas envolvidas por água e que são de **suma importância** para a **química pré-biótica**.

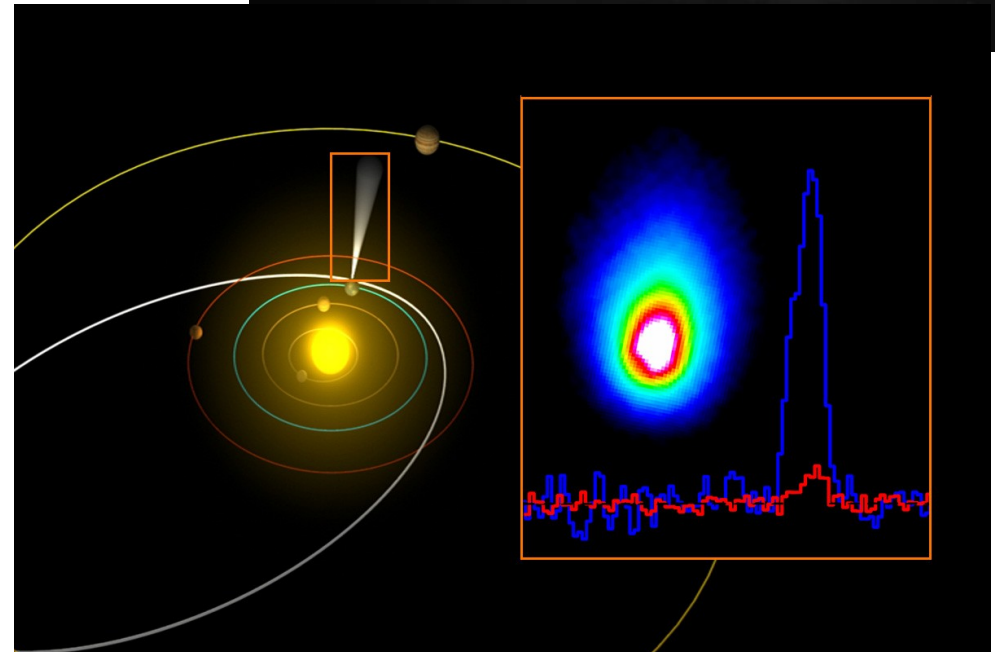
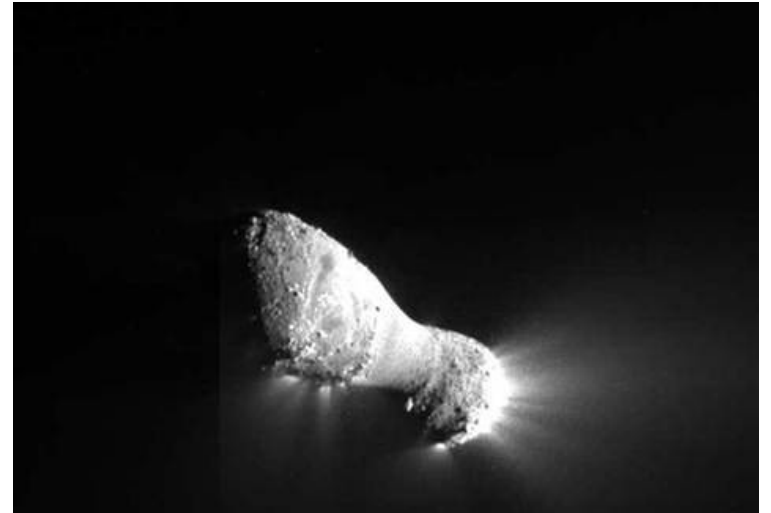
Em 2020, cosmoquímicos acharam nele material de 7 bi. anos, mais velho que o Sistema Solar!



Condições para Vida surgir

Astroquímica

Além disso, boa parte da **água** na **Terra** ($\geq 50\%$) vem de **cometas**.

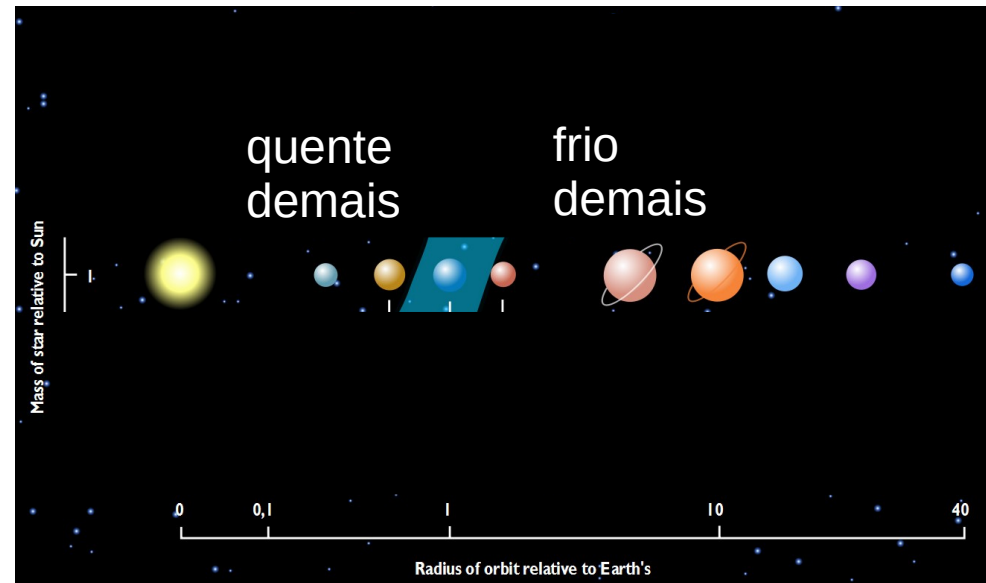


ESA's Herschel infrared space observatory

Condições para Vida surgir

A Zona Habitável

É a **região** em torno de uma estrela, naquela a **temperatura** permite a existência da **água líquida estável** na **superfície** de **planetas** hipotéticas, basicamente a região, naquela a temperatura do planeta estaria entre 0 °C e 100 °C, usando $T_p = \sqrt{(R_*/2D)} \cdot T_*$, onde T_* é a temperatura da estrela (=> Aula Planetas do Sistema Solar), mas lembrando que possíveis **albedos** e **efeitos estufa** podem influenciar na temperatura do planeta também.



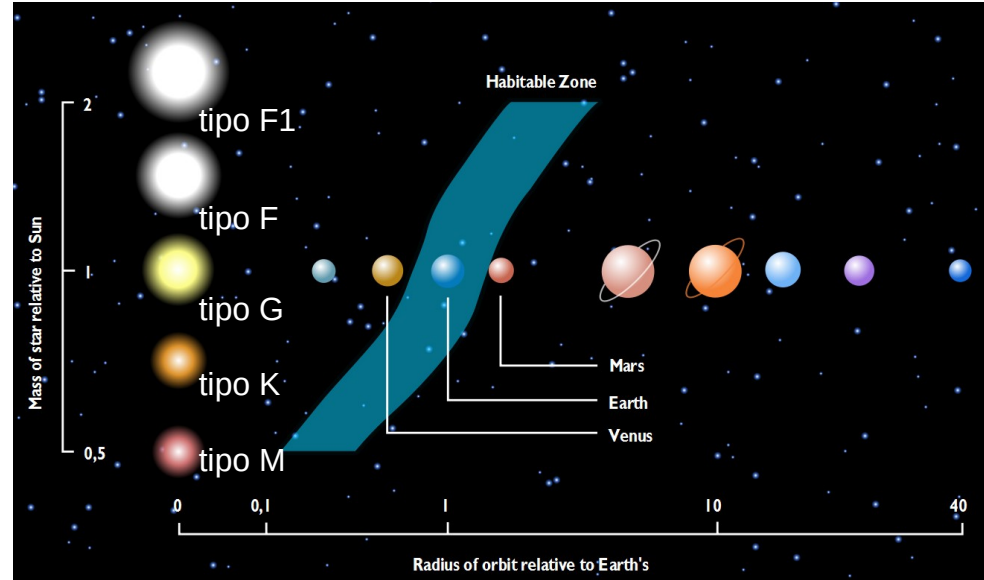
Zona habitável em torno do Sol
(faixa azul)

Condições para Vida surgir

A Zona Habitável

A **distância** da zona habitável **da estrela** depende da luminosidade, isto é, do **tipo espectral** da estrela.

Estrelas tipo O e B emitem radiação energética causando fotoevaporação que impede formação de planetas.



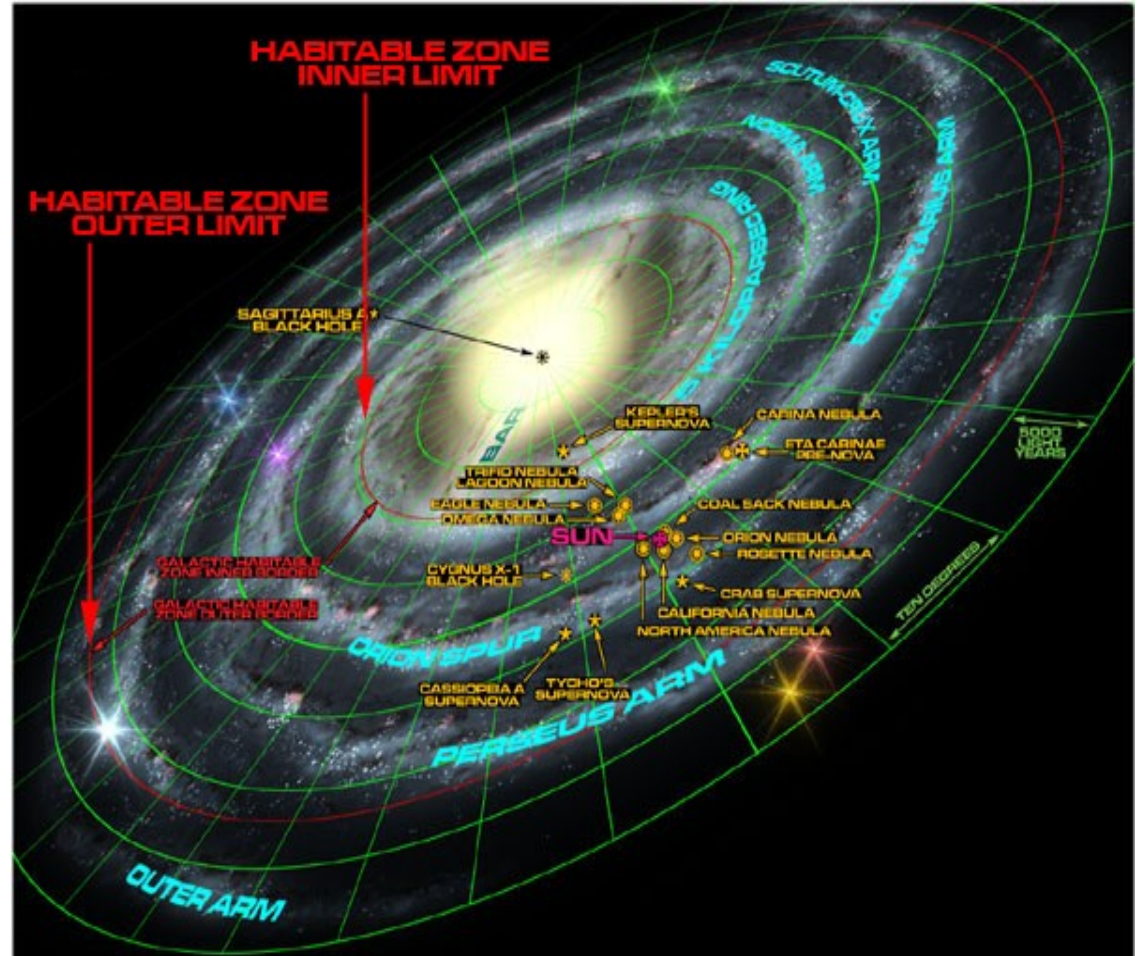
Zona habitável para diferentes tipos espectrais de estrelas da Sequência Principal (faixa azul)

Condições para Vida surgir

A Zona Habitável Galáctica

- É onde a **metalicidade** do gás está “certa”:

se ela está muito baixa (nas partes exteriores do disco Galáctico), não se podem formar planetas rochosos em torno das estrelas,
e se ela está muito alta, se formam demais gigantes gasosas, que migram pelo disco e atrapalham os planetas rochosos,



- e isto **há pelo menos 3.5 Gyr**, pra vida ter tido tempo para surgir

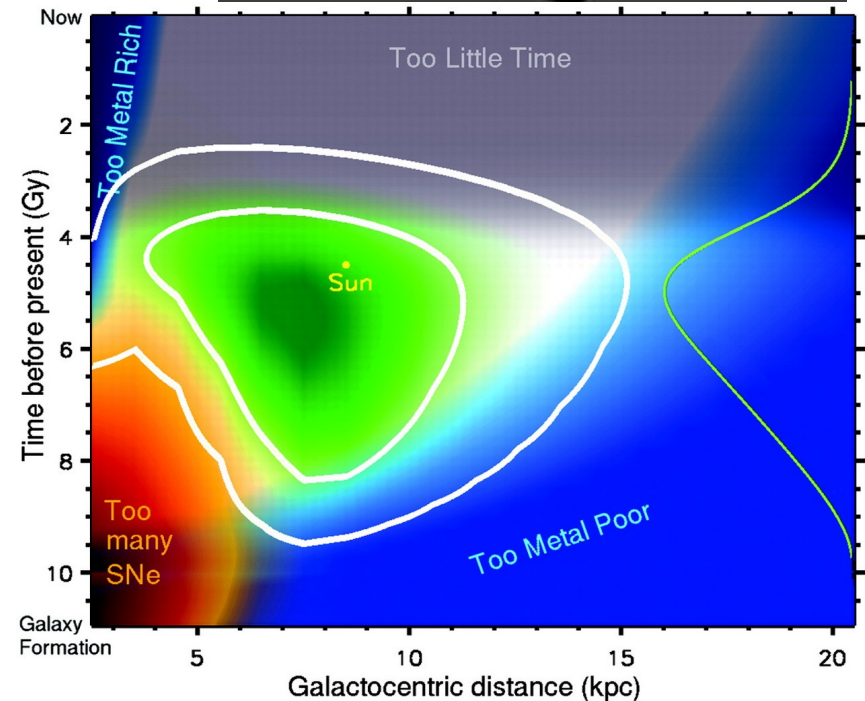
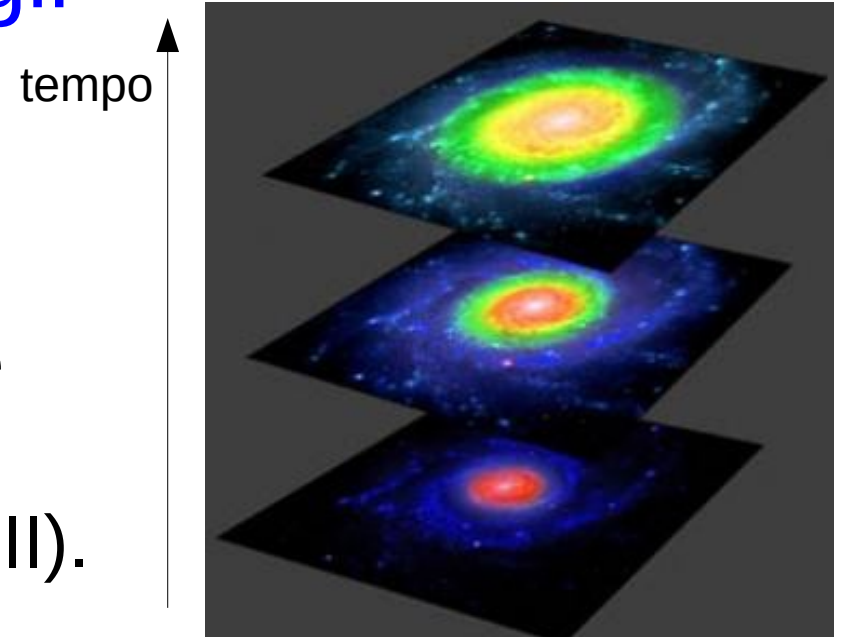
- **Longe de Supernovas**, que emitem radiação nociva

Condições para Vida surgir

A Zona Habitável Galáctica

A **formação estelar** e o **enriquecimento** do **gás** acontece "de **dentro** para **fora**"
(=> aulas Via Láctea e Galáxias II).

Diagrama espaço-tempo de **eventos de formação estelar**.
Se a **formação** de uma **estrela** ocorreu na região **verde**, ela **pode** ter **planetas habitáveis** hoje.



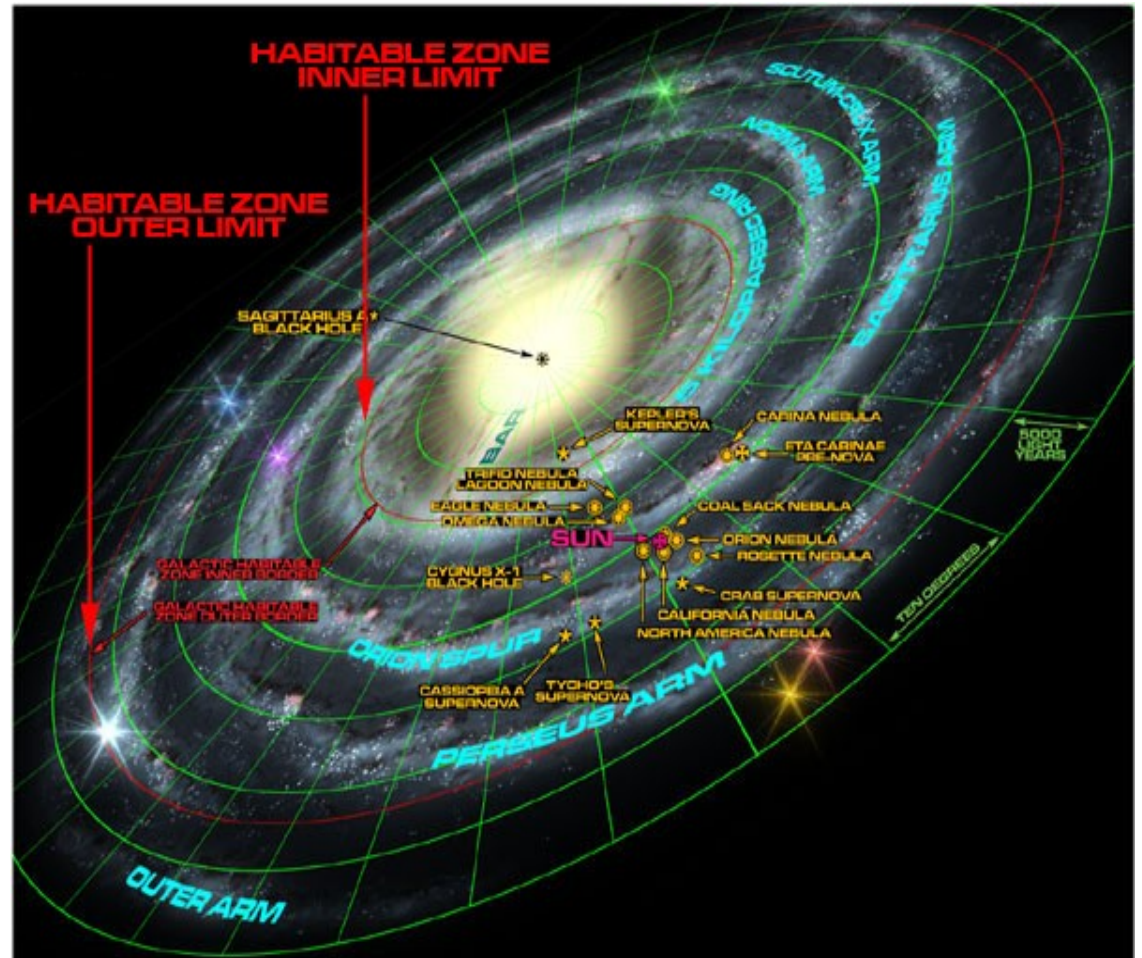
Condições para Vida surgir

A Zona Habitável Galáctica

Outro fator para se levar em conta:

Nos **braços espirais** há **formação estelar**
=> **Supernovas**

O **Sol** fica perto do **raio** da **corrotação** da Galáxia
=> **Não** atravessa (ou é varrido por) os **braços** periodicamente
=> **tempo** para **surgimento** de **vida**



Condições para Vida surgir

Extremófilos e Extremotolerantes

Extremófilos: Do latim extremus e grego philiā [φιλία] – amor): **organismos** que **exigem** e **utilizam** as **condições** fisicamente ou geoquimicamente **extremas** que são **detrimentosas** à **maioria** da **vida** na **Terra**

Extremotolerantes: Do latim extremus e tolerantia (capacidade de suportar sofrimentos) – organismos que **suportam** por **longo tempo** as condições fisicamente ou geoquimicamente extremas mas seu ambiente preferido é mais ameno

Para que estudar?

Podem **aumentar** as **faixas** de valores **favoráveis** à **vida** de grandezas como temperatura, pressão, ...

Condições para Vida surgir

Extremófilos e Extremotolerantes

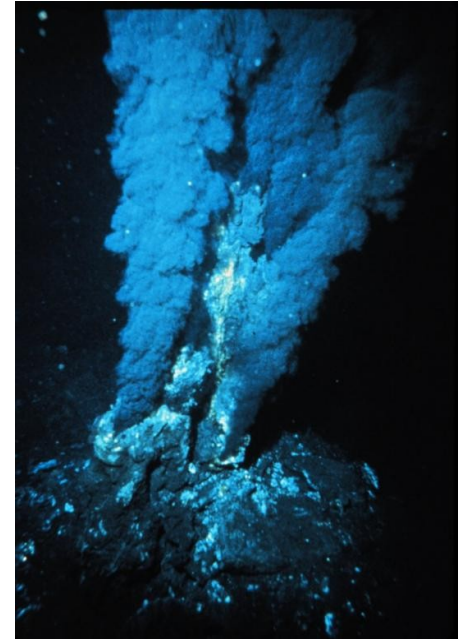
Na Terra, temos organismos que vivem em:

- **Temperaturas acima** de **60 °C**: **termófilos**,
ou até de **80 a 122 °C**: **hipertermófilos**

Exemplos: Pyrodictium, Pyrobolus,
Ignicoccus, Staphylothermus

A **Terra** foi muito mais quente quando a **vida surgiu** (~3.8 Gyr atrás) e primeiros fósseis não ambíguos correspondem a procariontes termofílicos

- **Temperaturas a baixo** de **-5 °C**: **psicrófilos**, **criófilos**
assemelha a condições encontradas na **Europa**
(ou **Marte** de hoje)



Condições para Vida surgir

Extremófilos e Extremotolerantes

Na Terra, temos organismos que vivem em:

- Ambientes altamente **ácidos** ($\text{pH} \leq 3$): **acidófilos**
exemplo: Solfataras, larvas de *Ephydra brucei*



- Ambientes altamente **alcalinos** ($\text{pH} \geq 9$): **alcalófilos**
exemplo: cianobactérias



Condições para Vida surgir

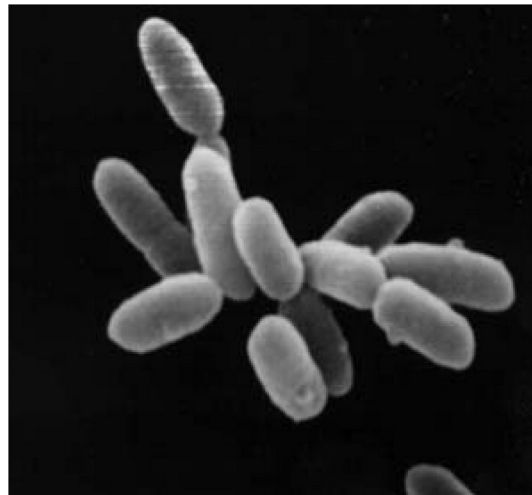
Extremófilos e Extremotolerantes

Na Terra, temos organismos que vivem em:

- Ambientes altamente “salgados” ($[\text{NaCl}] \geq 0.2 \text{ M}$):
halófilos

exemplos: Halobacterium, larvas de Ephydra cinera

Organismos que sobrevivem em rochas se assemelham com as estruturas recentemente achadas em **Marte**.



Condições para Vida surgir

Extremófilos e Extremotolerantes

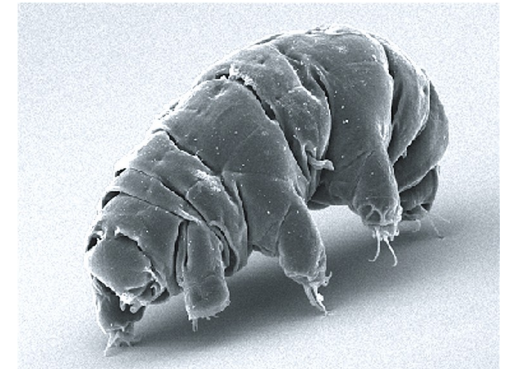
Na Terra, temos organismos que vivem em:

- **pressões** de 110 a 1000 atm:
barófilos, piezófilos, endólitos

A vida rica e complexa achada em volta de **fontes hidrotermais** no fundo do **oceano** aponta para mais provável **origem da vida**.

No fundo do previsto **oceano subglacial** na **Europa** poderiam as **fontes hidrotermais** originar a vida

A presença da vida em **cavernas** em profundidades da crosta terrestre sugere a possibilidade de vida nos **planetas** com **atmosfera fina** (**Marte, exoplanetas**)

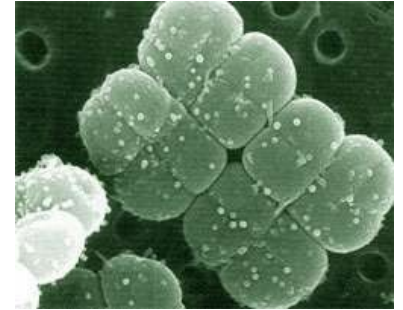


tardígrado,
suporta altas variações
de temp. e pressão

Condições para Vida surgir

Extremófilos e Extremotolerantes

Na Terra, temos organismos que vivem em:



- Ambientes muito **secos** ($a_w < 0.8$): **xerófilos**
- Altas doses de **radiação UV**, **raios X** ou **gama** (até 30 kGy, 6000 vezes a dose letal para humanos)
exemplo: *Deinococcus geothermalis*
- Ambientes muito **metálicos** (Cu, Cd, As, Zn 100-200 mg/l): **halófilos**
- Ambientes com **poucos nutrientes** (Níveis < 10% de nutrientes): **oligófilos**
- Ambientes com **muitos nutrientes**,
i. e. altos níveis de **açúcar**: **osmófilos**

=> Dá para **expandir** um pouco as **zonas habitáveis**.

Bioassinaturas

Def. qualquer

- **Substância** (elemento, isótopo, ou molécula)

- **Fenômeno**

que representa uma **evidência científica** da **vida presente** ou **passada**

por exemplo

- **estruturas químicas e físicas complexas**

- Sua **utilização de energia**

- Produção de **biomassa**

- Produção de **“lixo”**

Bioassinaturas

A **utilidade** da bioassinatura é determinada por:

- A **probabilidade** de ser **criada** por **vida**
- A **improbabilidade** de ser produzida por processos **não biológicos** (abióticos)

Graças às suas **características únicas**, a bioassinatura pode ser interpretada como **produzida** por **organismos vivos**.

As bioassinaturas, porém, têm que ser consideradas como **não definitivas** porque **não** existe **conhecimento pleno** sobre qual assinatura é:

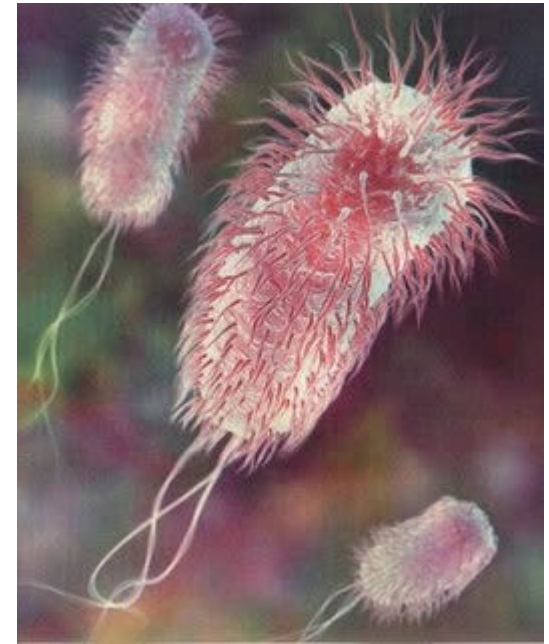
- **Universal** para a **vida**
- **Única** para circunstâncias peculiares para a vida **na Terra**.

Bioassinaturas

Metano (com Oxigênio)

Produzido por **árqueas metanogênicas**,

- Em **Fontes hidrotermais** no fundo de oceanos
- Em **Pântanos** (decomposição de plantas pelas **árqueas**)



Bioassinaturas

Metano (com Oxigênio)

- Flatulência em humanos

Produção normal diária de flato:

476-1491 ml/24 h

Metade das pessoas têm arqueas que produzem até 10% metano e 10-30% CO₂ em flato

É estimado ~7.156 bi de pessoas

$$0.983 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 0.005 (\text{CH}_4) \cdot 7.156 \cdot 10^9 \\ = 34\,500 \text{ m}^3 = 23 \text{ t/dia} \Rightarrow 8400 \text{ t/ano}$$

- Eructações dos ruminantes

Produção anual de metano: 80-100 kg/ano

É estimado ~1.3 bi de cabeças de gado

$$0.9 \text{ t/ano} \cdot 1.3 \cdot 10^9 = 1170 \text{ mi t/ano (28\%)}$$



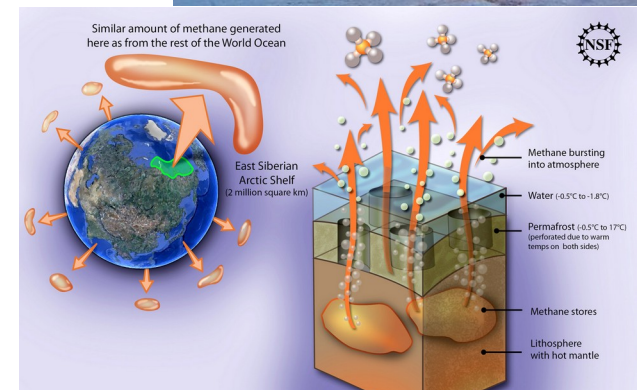
Bioassinaturas

Metano (com Oxigênio)

Lixo sólido (14%) e esgoto (11%)
Produção de metano - 410 bi t/ano

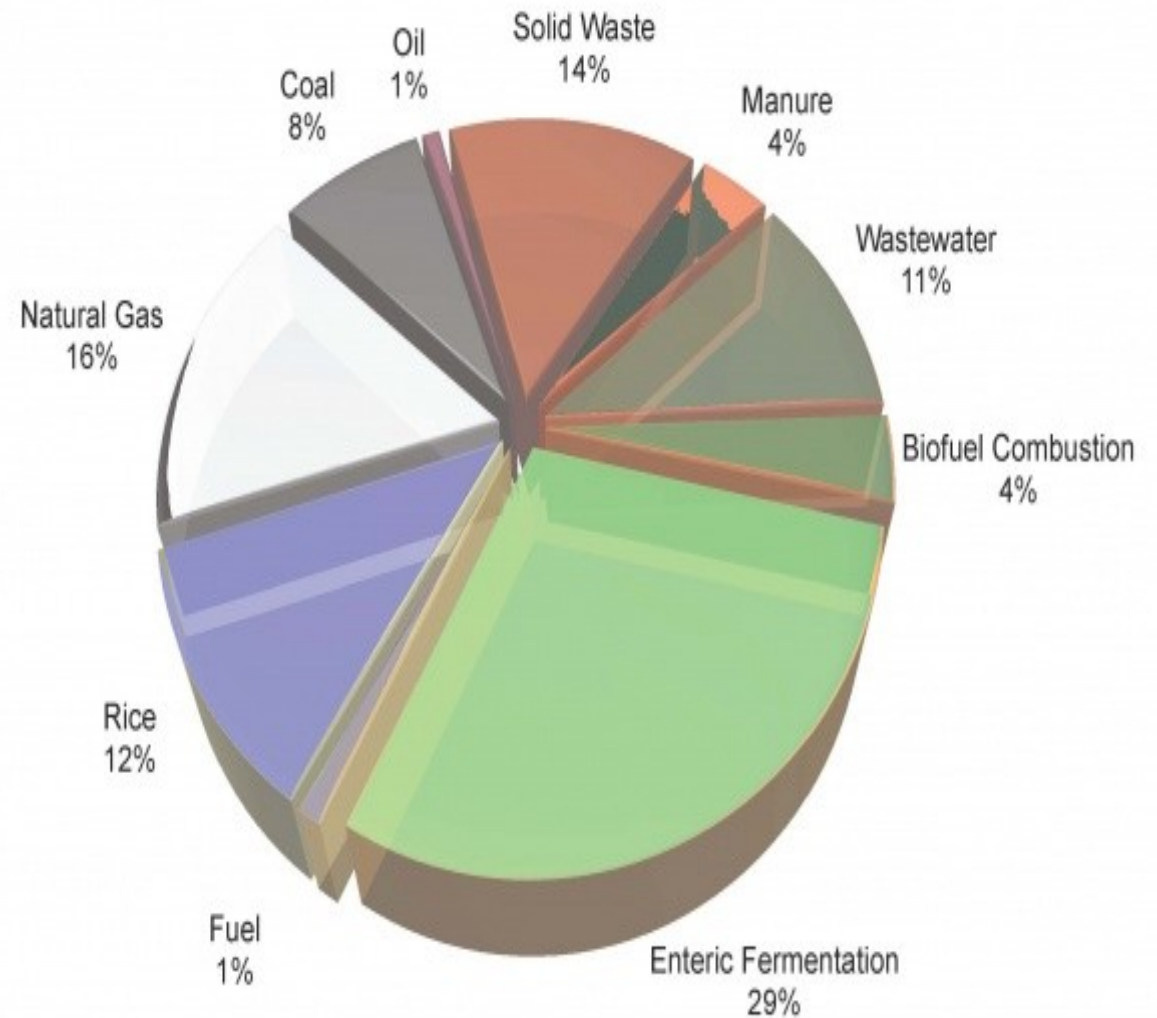
Depósitos de metano
em clatratos/hidratos

Mas também pode ter
origem vulcânica...

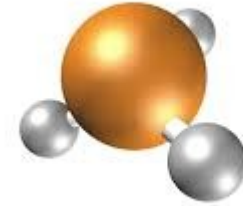


Bioassinaturas

Metano (com Oxigênio)



Bioassinaturas



Fosfina (ou fosfano ou fosfamina, PH_3)

A fonte mais provável é a **redução** de **fosfato** em **matéria orgânica** em **decomposição**, possivelmente por reduções parciais e dismutações, já que sistemas ambientais não contêm agentes conhecidas redutoras o suficiente para converter fosfato em fosfina diretamente.

- associada a **ecossistemas anaeróbicos** na Terra

Nenhum processo **abiótico** atualmente conhecido gera o gás **fosfina** em **planetas terrestres** em quantidades apreciáveis, então **montantes detectáveis** de **fosfina** poderiam **indicar vida**.

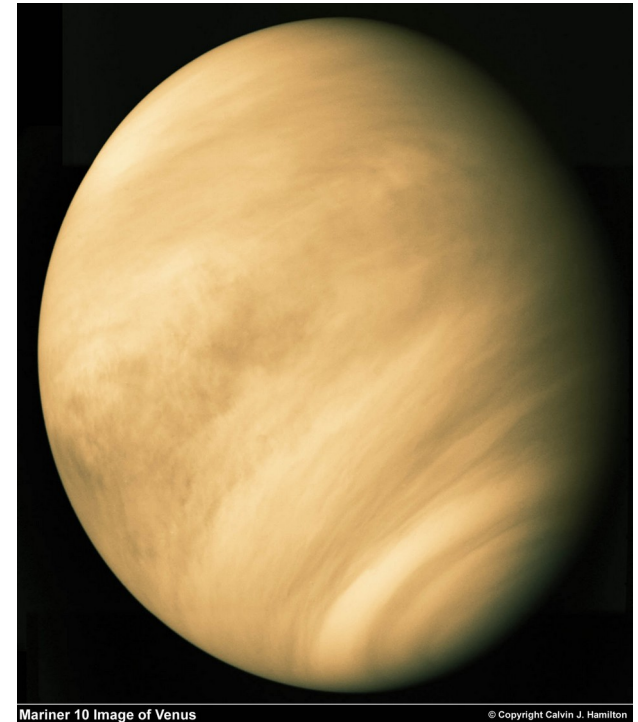
Possíveis Lugares com Vida

- Vênus
- Marte
- Luas dos Planetas Jovianos
- Exoplanetas

Vênus

Vide aula planetas do Sistema Solar

Várias propriedades da Vênus são da **mesma ordem** que as da **Terra**:
raio = $0.95 \cdot R_{\oplus}$, massa = $0.82 \cdot M_{\oplus}$,
 $R_{\text{órbita}} = 0.72 \cdot R_{\text{órbita},\oplus}$ (2º planeta do Sol),
no **limite** inferior da **zona habitável** do Sistema Solar.



Vênus

Mas Vênus tem uma **atmosfera muito densa** e corrosiva, de **CO₂**, algum N₂ e uma pequena quantidade de água que permitem a formação de ácidos como o HCl e o H₂SO₄.

Estas nuvens densas **retêm o calor**
=> **efeito estufa descontrolado**
=> ~480 °C.

E o ácido na atmosfera também não é muito agradável.



Vênus

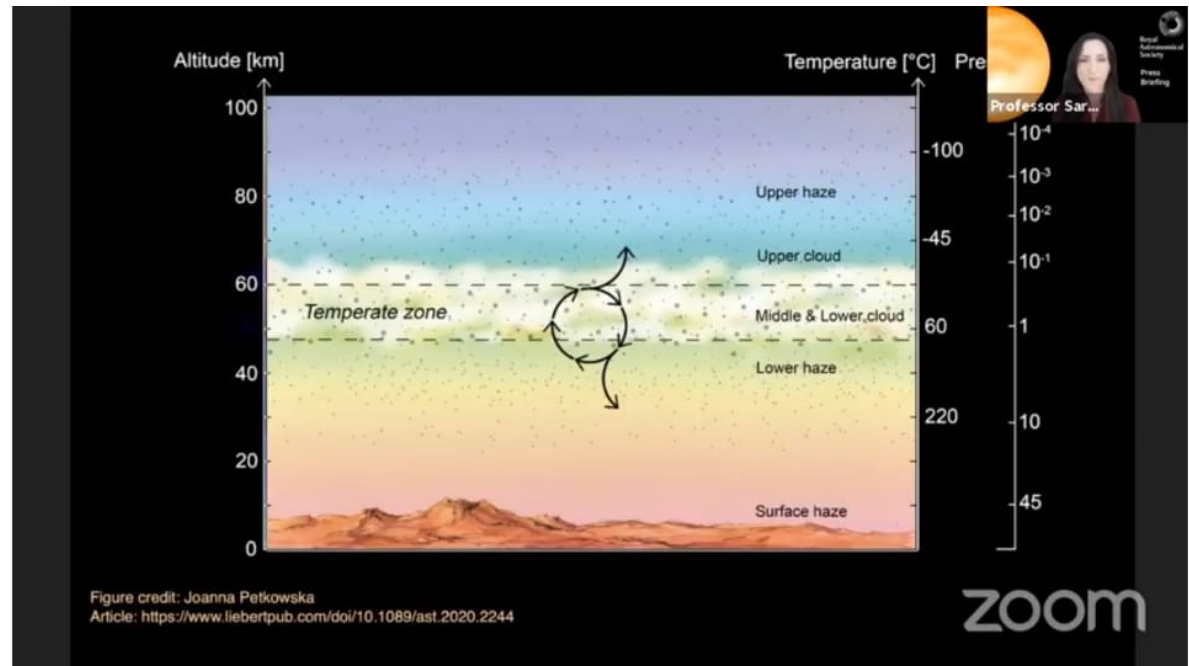
Mesmo assim: **Vida na Vênus?**

Em setembro de 2020 foi anunciada a descoberta de **fosfina** (PH_3) na **zona habitável** da **atmosfera** da Vênus (~ 50 km, 1 atm., 25°C). Fosfina não é esperada na atmosfera de Vênus, por que a radiação UV do Sol em combinação com os H_2O e CO_2 da atmosfera do planeta o destruiriam.

Porém, **vida anaeróbica** consegue produzir fosfina.

=> Possível **biomarcador**

Ambas, a **detecção** e a **origem orgânica**, estão sendo **contestadas**.



Printscreen da live anunciando a descoberta, tirado por Beatriz Yordaki do clube de astronomia da UFABC, Arcturus

Marte

4º planeta do Sol, 1.52 AU,
no limite exterior da zona
habitável do Sistema Solar
=> ano marciano: 1.88 a_⊕

$$R_{\text{♂}} = 0.53 \cdot R_{\text{⊕}}$$

$$M_{\text{♂}} = 0.107 \cdot M_{\text{⊕}}$$

Também **assemelha**-se
à Terra em vários aspectos:

- **Atmosfera**
de CO₂, N₂, Ar e O₂,
- **Gelo** nos **polos**,
- **Inclinação** atual do **eixo** próxima da terrestre (25°)
- **“Tempo”**: Tempestades e nuvens,
- **Dia** de ~25 horas,
- **Estações**.

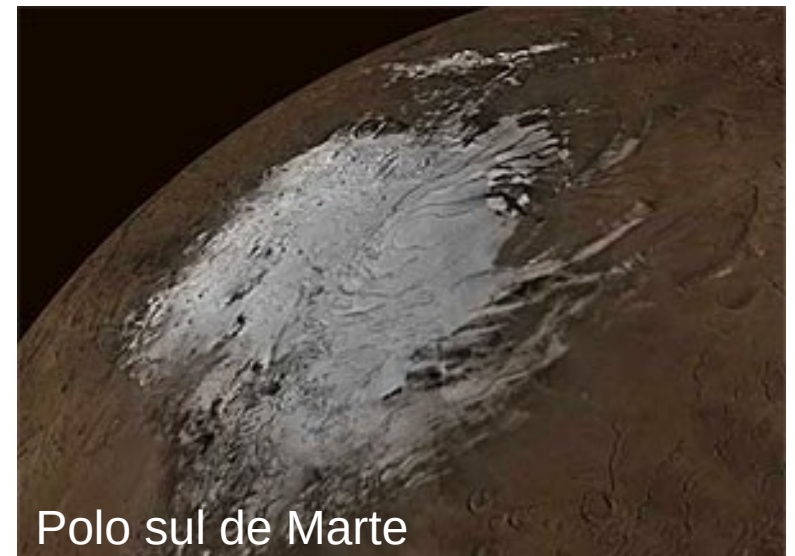


Marte

temperaturas: de $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,
já que a **atmosfera rarefeita** (pressão ~ 140 vezes menor
que na Terra) **não** causa um grande **efeito estufa**.

=> tem **gelo** nos polos e
possivelmente **permafrost**.

Maior parte do gelo é **gelo seco**,
 CO_2 sólido, mas parte é
gelo de água.



Polo sul de Marte

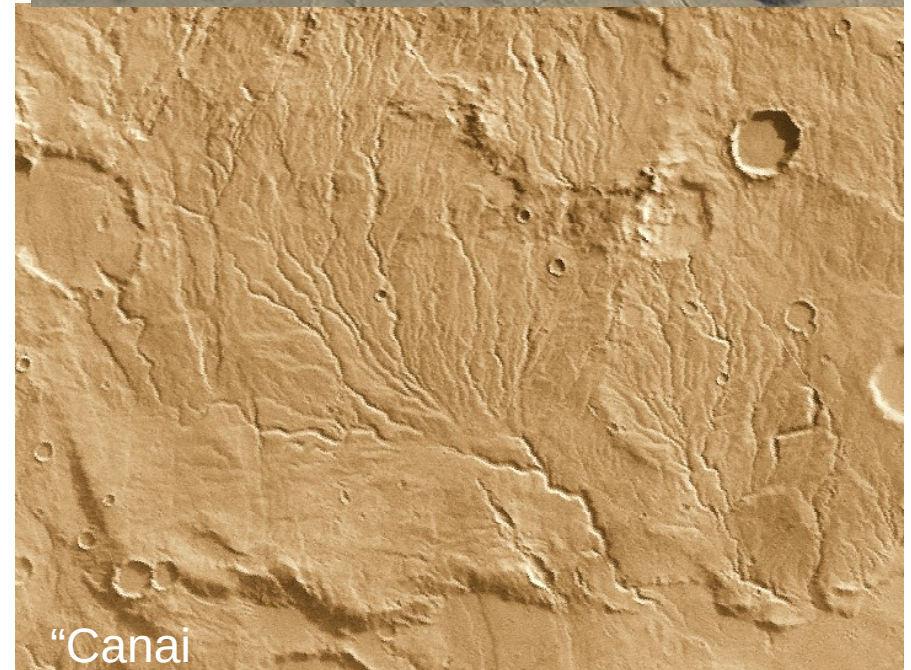
Marte

Tem **água líquida** em **Marte**?

Há dicas (**vales**, “**canais**”) de que já teve água.

Em 2017, o robô *Curiosity* detectou **sedimentos** típicos de rios e **compostos orgânicos** complexos.

=> teve água **no passado**.
As condições podem ter sido favoráveis à vida.

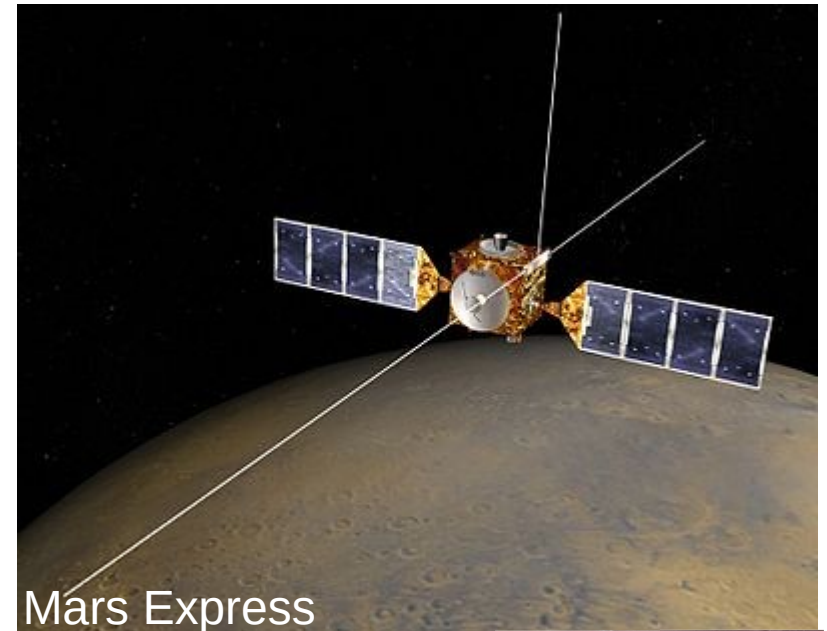


Marte

Tem **água líquida** em **Marte**?

Porém, com a **baixa pressão** atmosférica no presente, nas condições atuais água líquida na superfície **evapora** logo.

Em 2018, o radar MARSIS a bordo da sonda Mars Express achou dicas para um **lago subterrâneo** de água líquida perto do polo sul marciano.



Mars Express

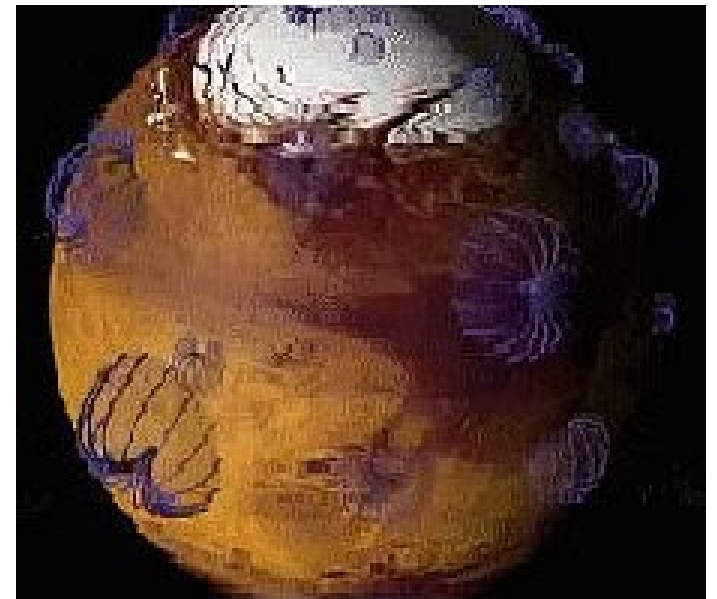
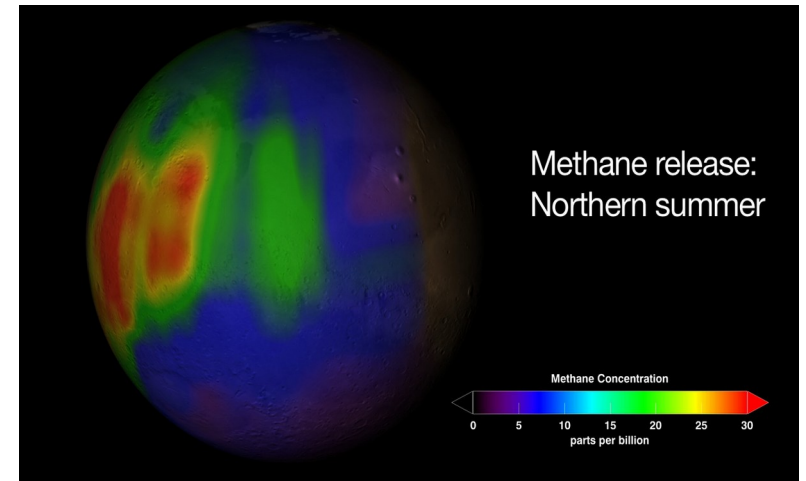


A localização do lago subterrâneo

Marte

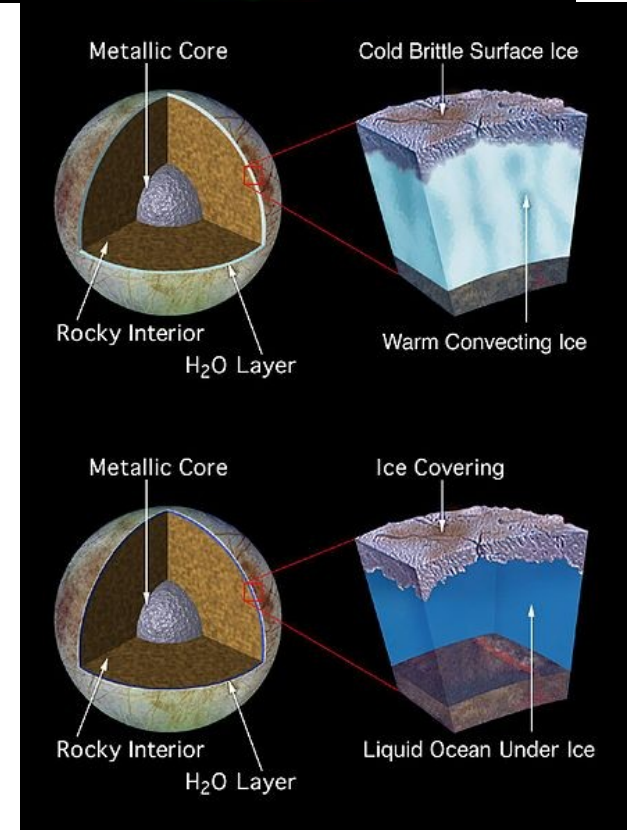
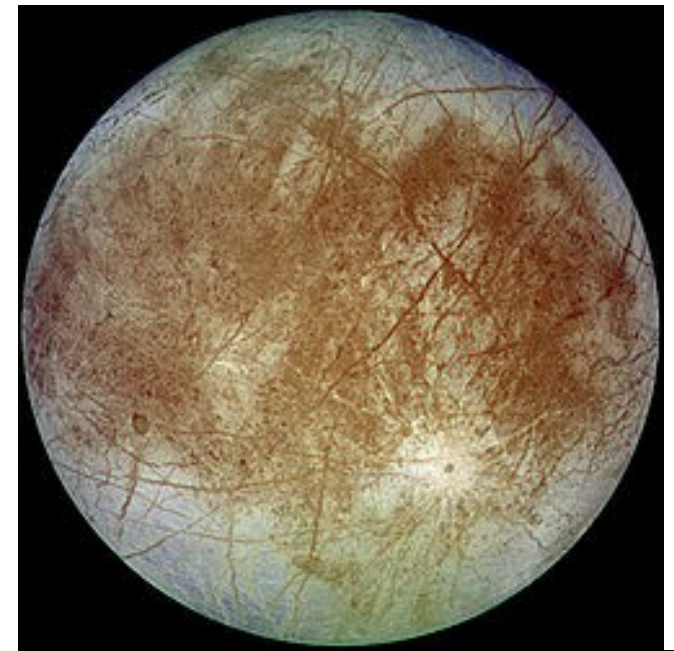
Marte libera **metano**
(~270 toneladas/ano)
em certas regiões
(30° N, 260° W e 0°, 310° W)
- produção por **árqueas** ou
vulcânica?

Campo magnético local poderia
fornecer **proteção** do **vento solar**



Europa

- Lua de Júpiter
 - caroço rico em ferro
 - manto de silício
 - capa de gelo que protege um possível oceano de ~150 km de profundidade mantida líquida (ou no estado “gelo mole”) por calor produzido por interações de maré com Júpiter e outras luas, também responsáveis pelas rachaduras na superfície
 - praticamente sem crateras
 - Fina atmosfera de O_2 (95%) e H_2
- => possivelmente habitável

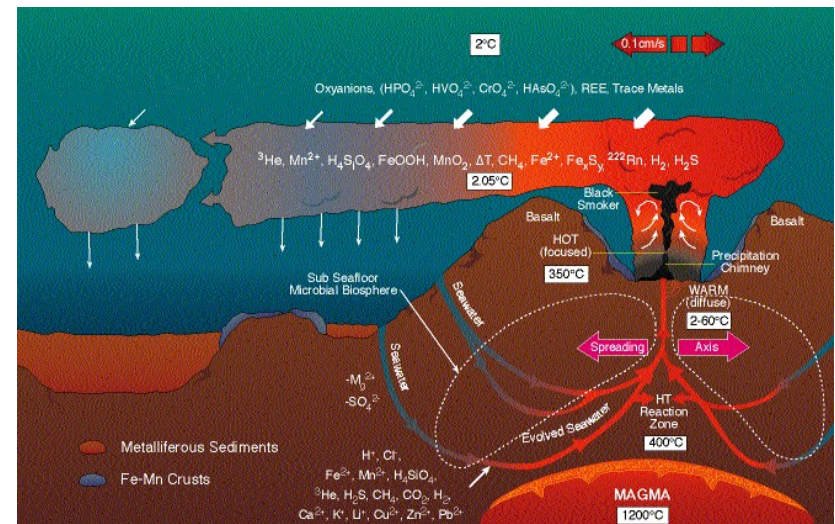
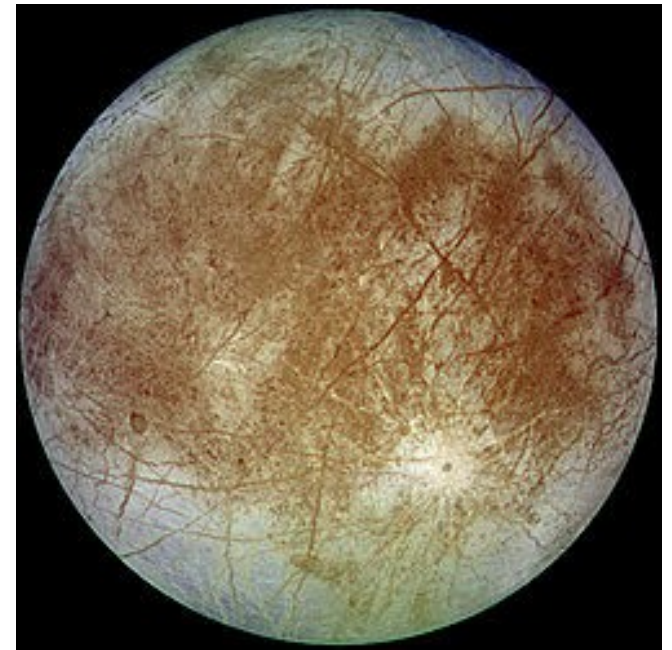


Europa

Em possíveis fontes hidrotermais poderia acontecer quimiossíntese:
 $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + 4\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$
Richard Greenberg (2009) descobriu que o impacto de raios cósmicos produz O_2 que pode ser absorvido pelo oceano através das rachaduras.

Durante alguns mi. anos, a concentração de O_2 poderia ser maior que nos oceanos da Terra

- Europa poderia ser habitada até por “peixes”.



Titã

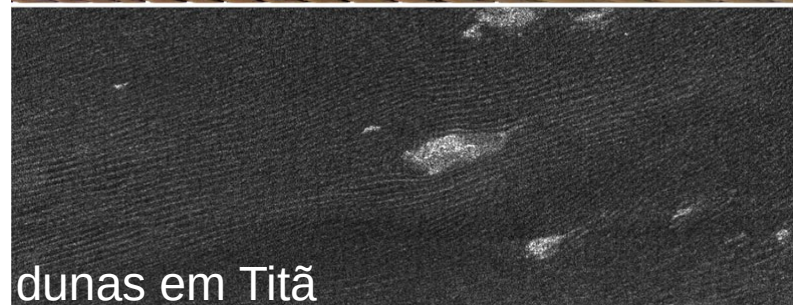
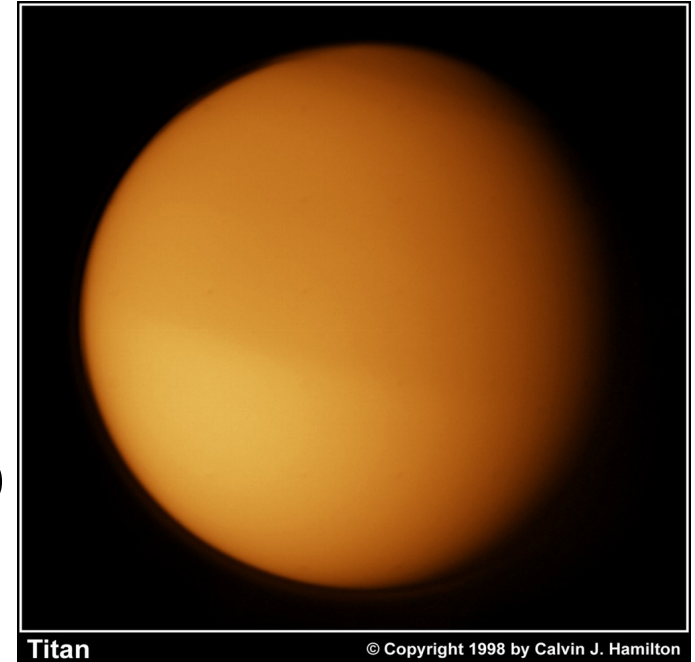
Lua de Saturno e o segundo maior do Sistema Solar, $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$

Visitada pela sonda aterrissadora Huygens (da Cassini)

Metano líquido na superfície de gelo

Atmosfera densa (1.5 atm) de N_2 , rica em metano, moléculas orgânicas e água

- ciclo do metano (/etano)



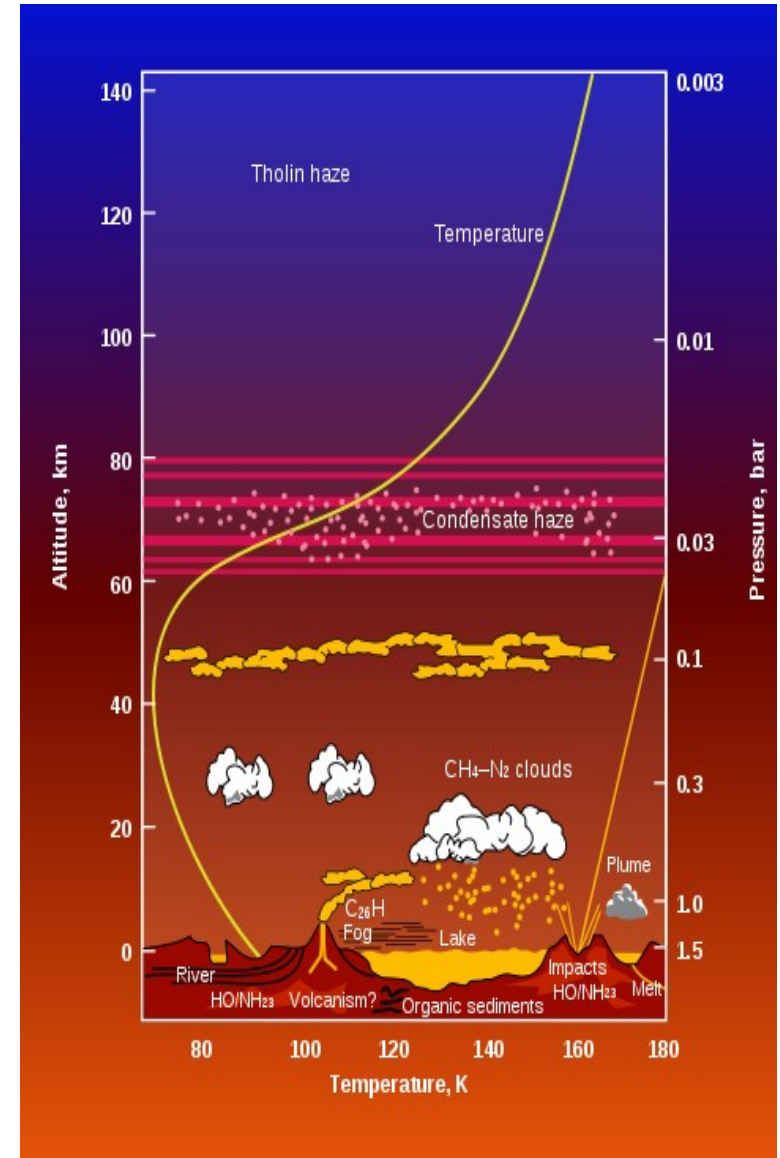
Titã

Tolinas (moléculas formadas pela ação de radiação ultravioleta solar em compostos orgânicos simples como metano e etano)

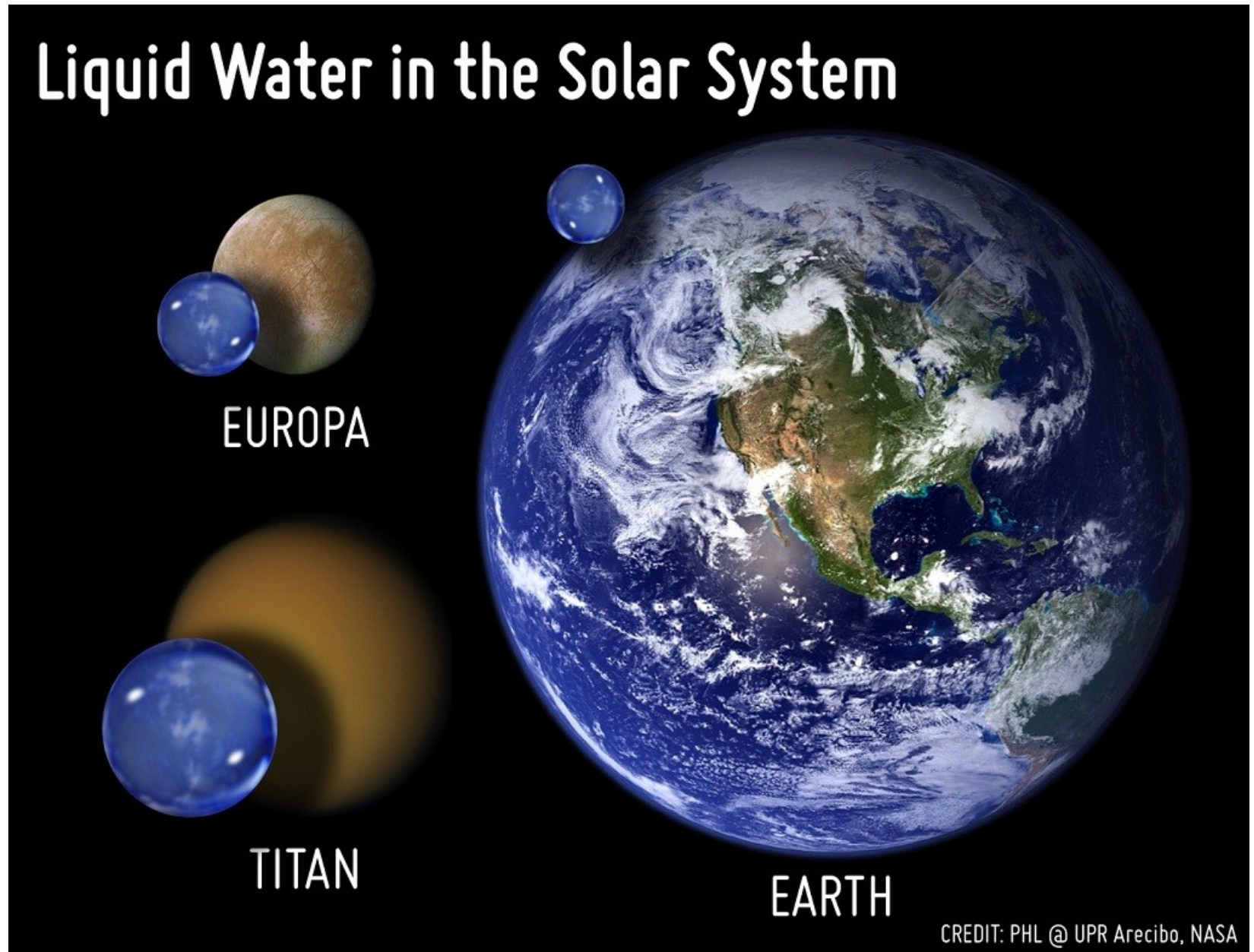
protegem a superfície de UV e poderiam servir como **nutriente** para **bactérias heterotróficas**.

Atmosfera contém um pouquinho de **acetileno** e perto da superfície tem **pouco hidrogênio** comparando com camadas mais altas
- indício para **vida metanogênica**

Condições **similares à Terra** na época do **surgimento da vida**



Titã e Europa

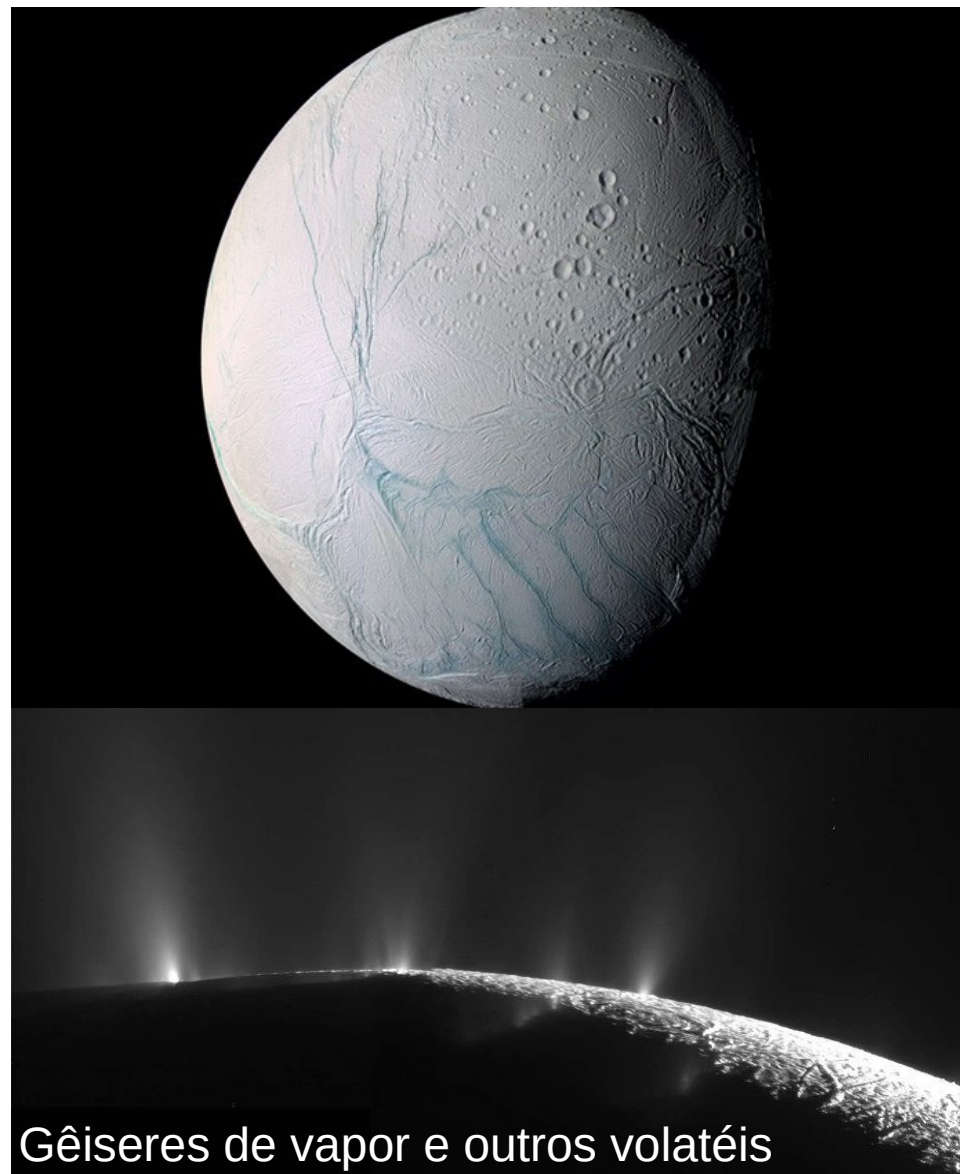


Encélado

6ª maior lua de Saturno
(diâmetro ~500 km)

Semelhanças com Titã:

- **atividade geológica**:
aquecido por forças de maré
- evidencia para **oceano salgado**
a baixo da superfície de gelo
- **atmosfera** com **metano**
e outras **moléculas orgânicas**
- possivelmente **habitável** para
microorganismos



Gêiseres de vapor e outros volatéis

Exoplanetas

Def. (wikipedia):

Um **exoplaneta**, ou **planeta extrassolar** é um planeta que **orbita** uma estrela que **não** seja o **Sol** e, desta forma, pertence a um **sistema planetário distinto** do **nosso**.


Exoplanetas

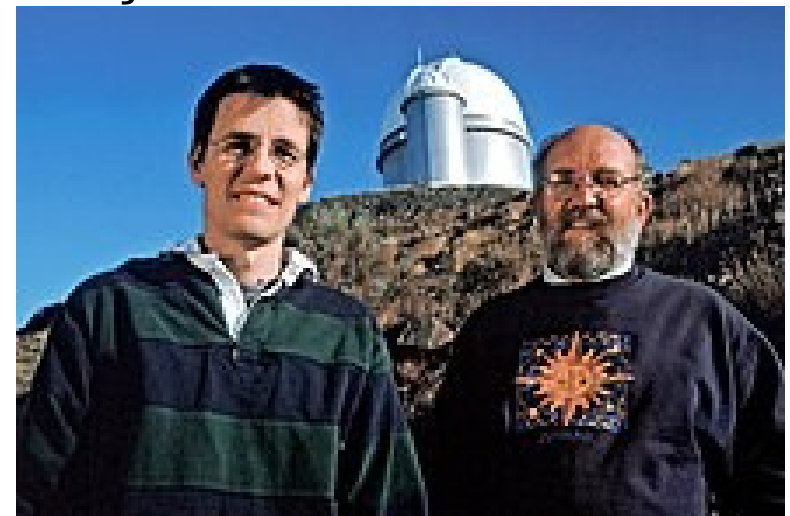
1584: Giordano Bruno sugeriu que o **Universo** seria **infinito**, que o **Sol** seria uma **estrela** como as estrelas fixas, que existiriam **planetas** girando em torno de **outras estrelas**, e que nestes poderia existir **vida inteligente**.



Giordano Bruno

1992: **Primeira detecção confirmada** de (dois) **planetas extrassolares**, em torno de um **pulsar**, por **irregularidades periódicas** nas pulsações da ex-estrela.

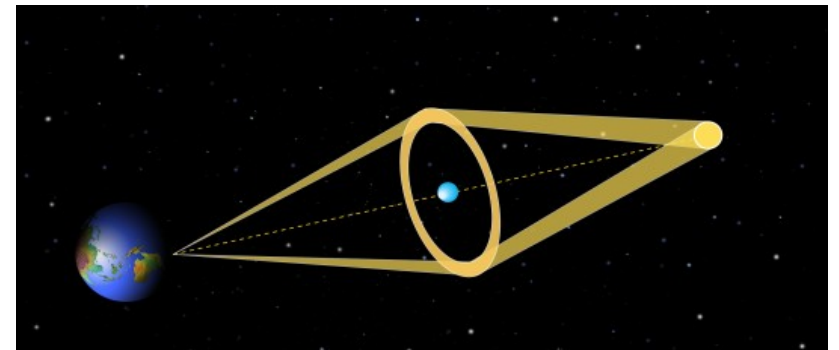
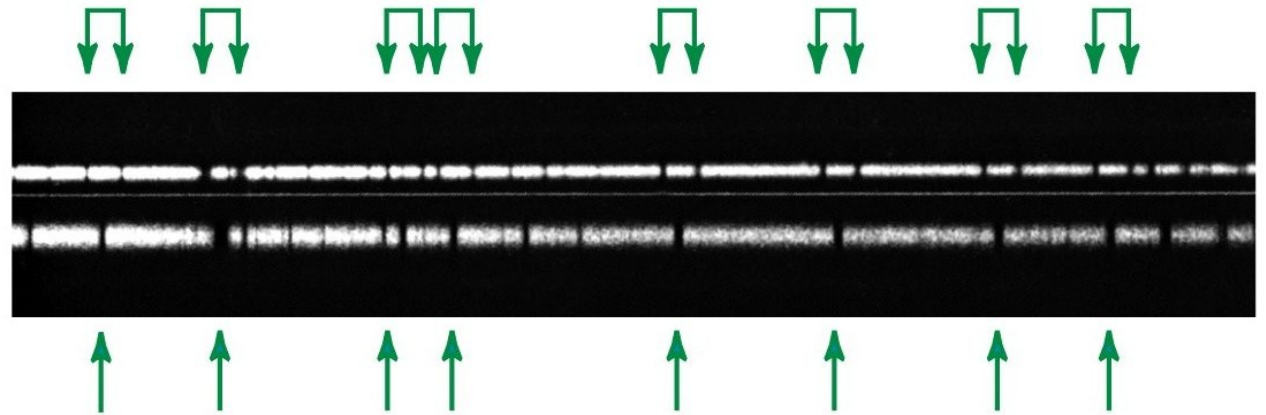
1995: **Descoberta do primeiro exoplaneta** orbitando uma **estrela "comum"**, 51 Pegasi, pelos suíços Michel Mayor e Didier Queloz.
=>  Prêmio Nobel em 2019.



Exoplanetas

Para detectá-los se usa os mesmos métodos que para (o componente mais fraco de) estrelas binárias (=> aula Estágios Finais da Evolução Estelar), como o da velocidade radial,

e/ou MACHOs (micro-lensing, aulas Relatividade e Via Láctea)



Exoplanetas

Para detectá-los se usa os mesmos métodos que para (o componente mais fraco de) estrelas binárias (=> aula Estágios Finais da Evolução Estelar), como o de trânsito

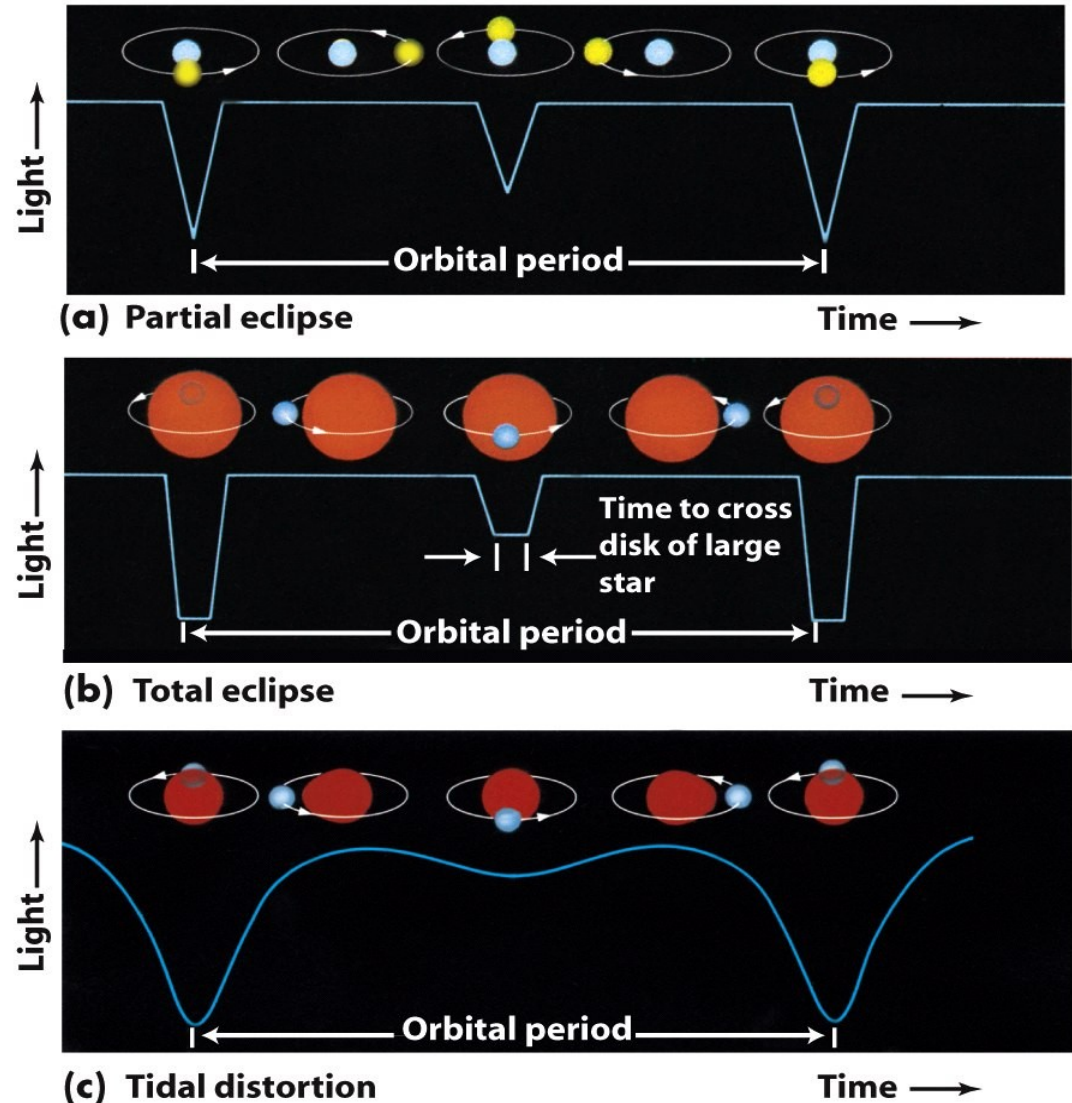


Figure 17-24
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Propriedades dos Exoplanetas Descobertos

Algumas Estatísticas e Figuras tirados do NASA Exoplanet Archive (15/03/2021*)

Descobertas por método de detecção

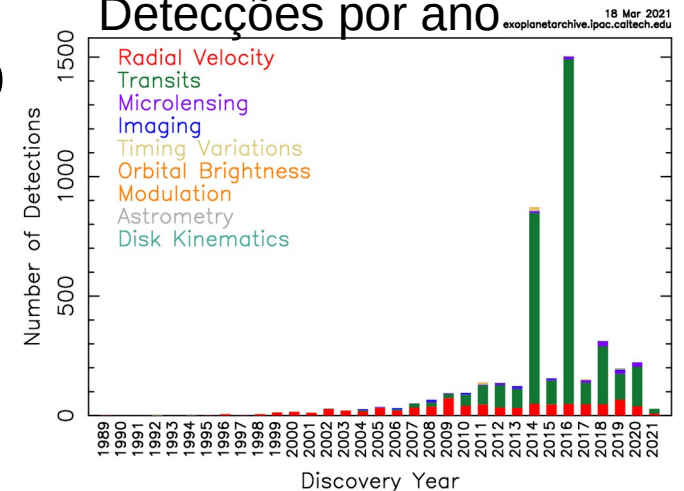
Confirmed Exoplanet Statistics

Discovery Method	Number of Planets
Astrometry	1
Imaging	51
Radial Velocity	833
Transit	3323
Transit timing variations	21
Eclipse timing variations	16
Microlensing	106
Pulsar timing variations	7
Pulsation timing variations	2
Orbital brightness modulations	6
Disk Kinematics	1

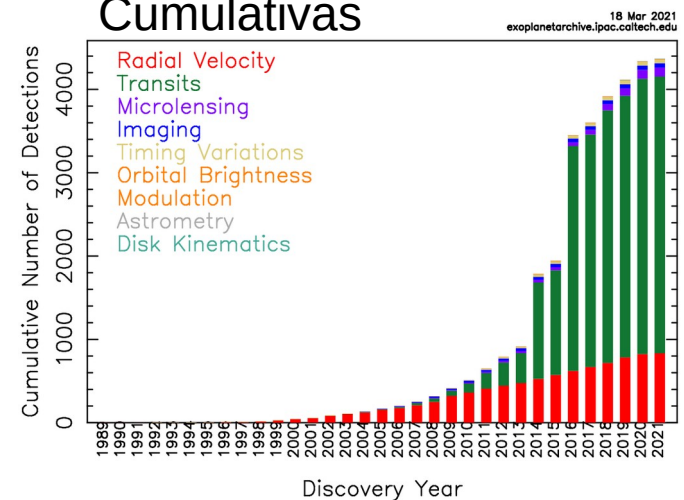
Transiting Exoplanets	3352
All Exoplanets	4367

*Data da última atualização do NASA Exoplanet Archive, <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

Detecções por ano



Cumulativas



Propriedades dos Exoplanetas Descobertos

Algumas Estatísticas e Figuras tirados do
NASA Exoplanet Archive (15/03/2021)

Descobertas por tamanho e massa

Counts by Radius

$R \leq 1.25 R_{\text{Earth}}$	419	"Terras"
$1.25 < R \leq 2 R_{\text{Earth}}$	881	"Super-Terras"
$2 < R \leq 6 R_{\text{Earth}}$	1404	"Netunos"
$6 < R \leq 15 R_{\text{Earth}}$	479	"Júpiteres"
$15 R_{\text{Earth}} < R$	167	Maiores

Counts by Mass

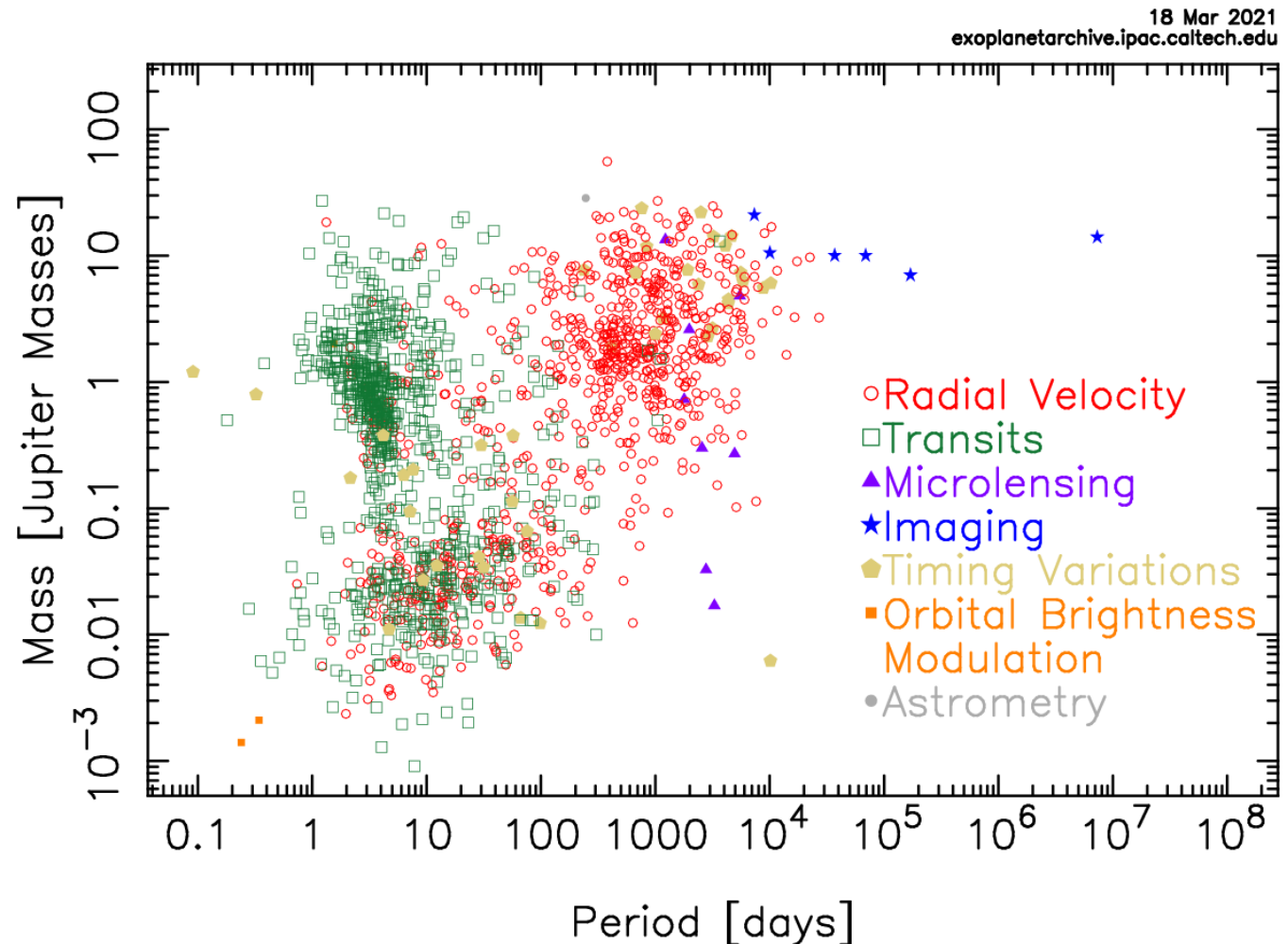
$M \leq 3 M_{\text{Earth}}$	46
$3 < M \leq 10 M_{\text{Earth}}$	158
$10 < M \leq 30 M_{\text{Earth}}$	109
$30 < M \leq 100 M_{\text{Earth}}$	98
$100 < M \leq 300 M_{\text{Earth}}$	231
$300 M_{\text{Earth}} < M$	396

Propriedades dos Exoplanetas Descobertos

Algumas Estatísticas e Figuras tirados do
NASA Exoplanet Archive (15/03/2021)

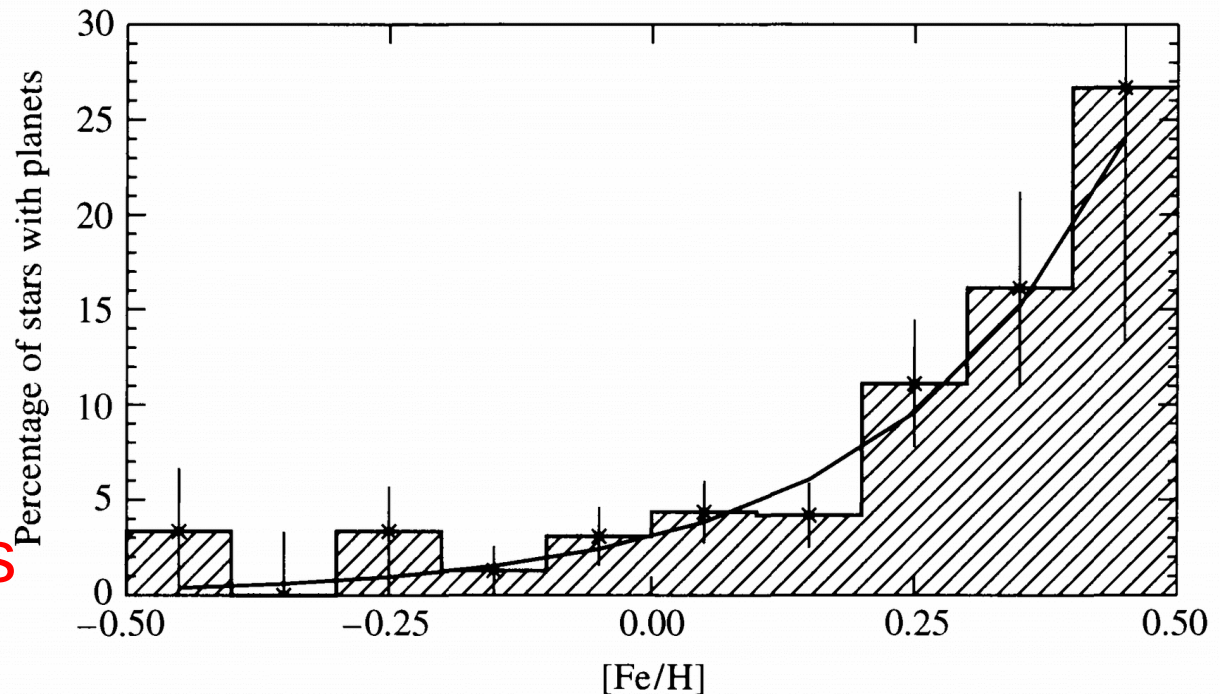
Mass – Period Distribution

Aqui se vê os
vieses
observacionais
de cada
método



Propriedades dos Exoplanetas Descobertos

Há uma tendência nos dados atuais de sistemas planetários de estarem preferencialmente em torno de **estrelas ricas em metais** (população I).



Estrelas com planetas confirmadas são **pobres em lítio**.

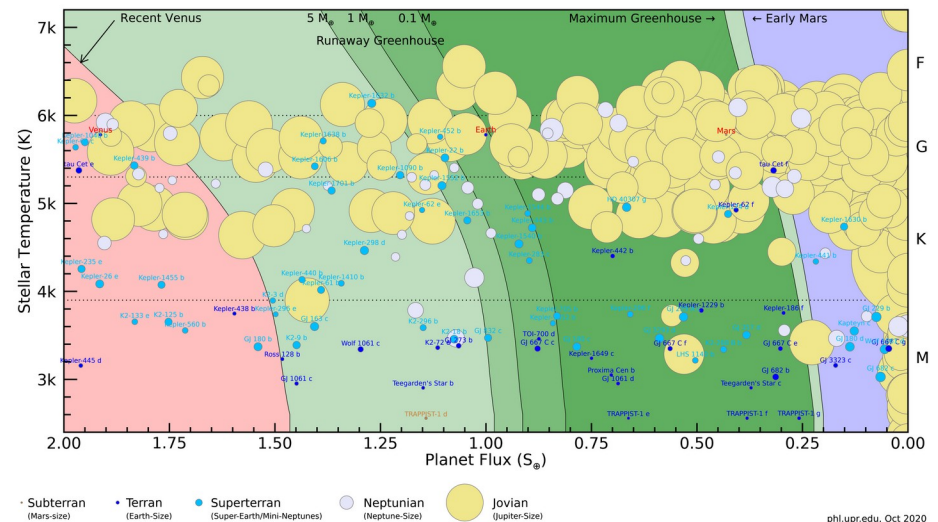
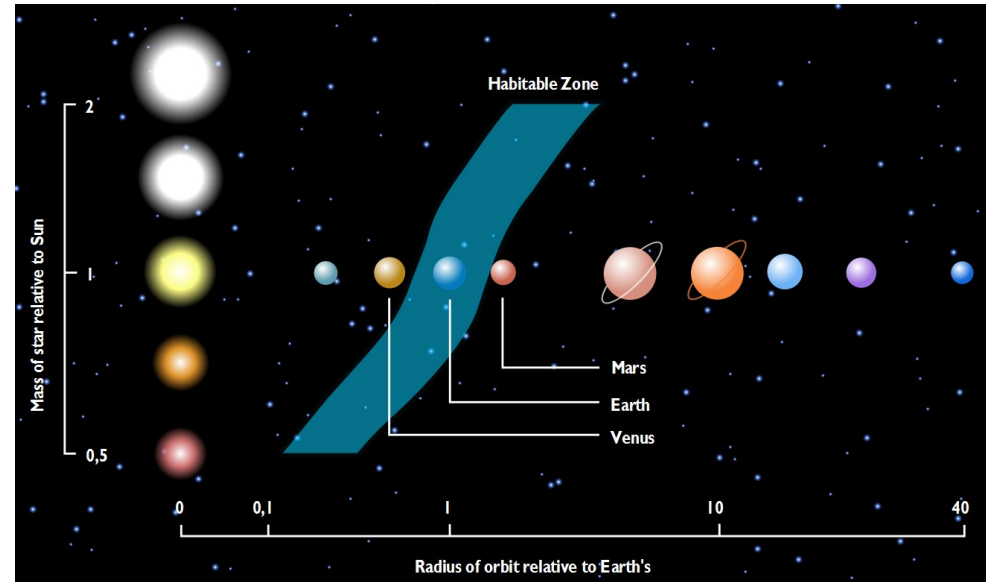
Propriedades dos Exoplanetas Descobertos

Em relação á
Zona Habitável:

Em baixo:
As **posições** de alguns
exoplanetas em relação
à **zona habitável** de suas
estrelas “mãe”

(05/10/2020)

Fonte:
Planetary Habitability Laboratory,
<http://phl.upr.edu/>



A Possibilidade de Detectar Vida

Índice de Similaridade com a Terra (ESI)

Índice que varia de 0 a 1, que classifica exoplanetas por $m = 4$ **critéria**:

$$ESI = \prod_{i=1}^m \left(1 - \left| \frac{x_i - x_{i0}}{x_i + x_{i0}} \right| \right)^{\left(\frac{w_i}{m} \right)}$$

Planetary Property	Reference Value	Weight Exponent
Mean Radius	1.0 Eu	0.57
Bulk Density	1.0 Eu	1.07
Escape velocity	1.0 Eu	0.70
Surface Temperature	288 K	5.58

Note: Eu = Earth's units

Sendo um **produto**, um valor **dissimilar** ao da Terra em **um** dos **critérios** pode zerar o **índice**.

A Possibilidade de Detectar Vida

Índice de Similaridade com a Terra (ESI)

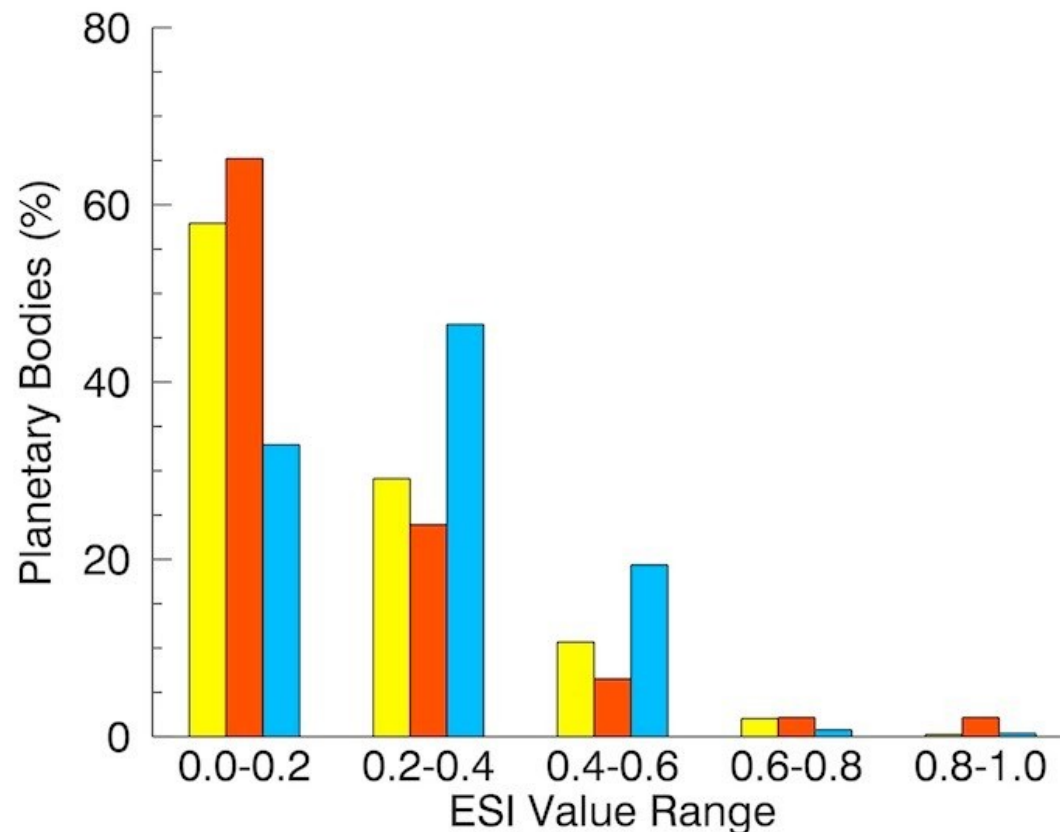
O site Planetary Habitability Laboratory

mostra, que o **número de exoplanetas possivelmente habitáveis**

(ESI ≥ 0.8)

é **baixo**

(05/10/2020).



A Possibilidade de Detectar Vida

Índice de Similaridade com a Terra (ESI)

Para piorar, o ESI **não** leva em conta as **propriedades** da estrela-mãe, que poderia por exemplo ser altamente **variável** ou **ativa**, tal que o número de objetos prometedores deve ser **menor ainda**.

Current Number of Potentially Habitable Exoplanets

(05/10/2020)

Subterran (Mars-size)	Terran (Earth-size)	Superterran (Super-Earths or Mini-Neptunes)	Total
1	23	36	60

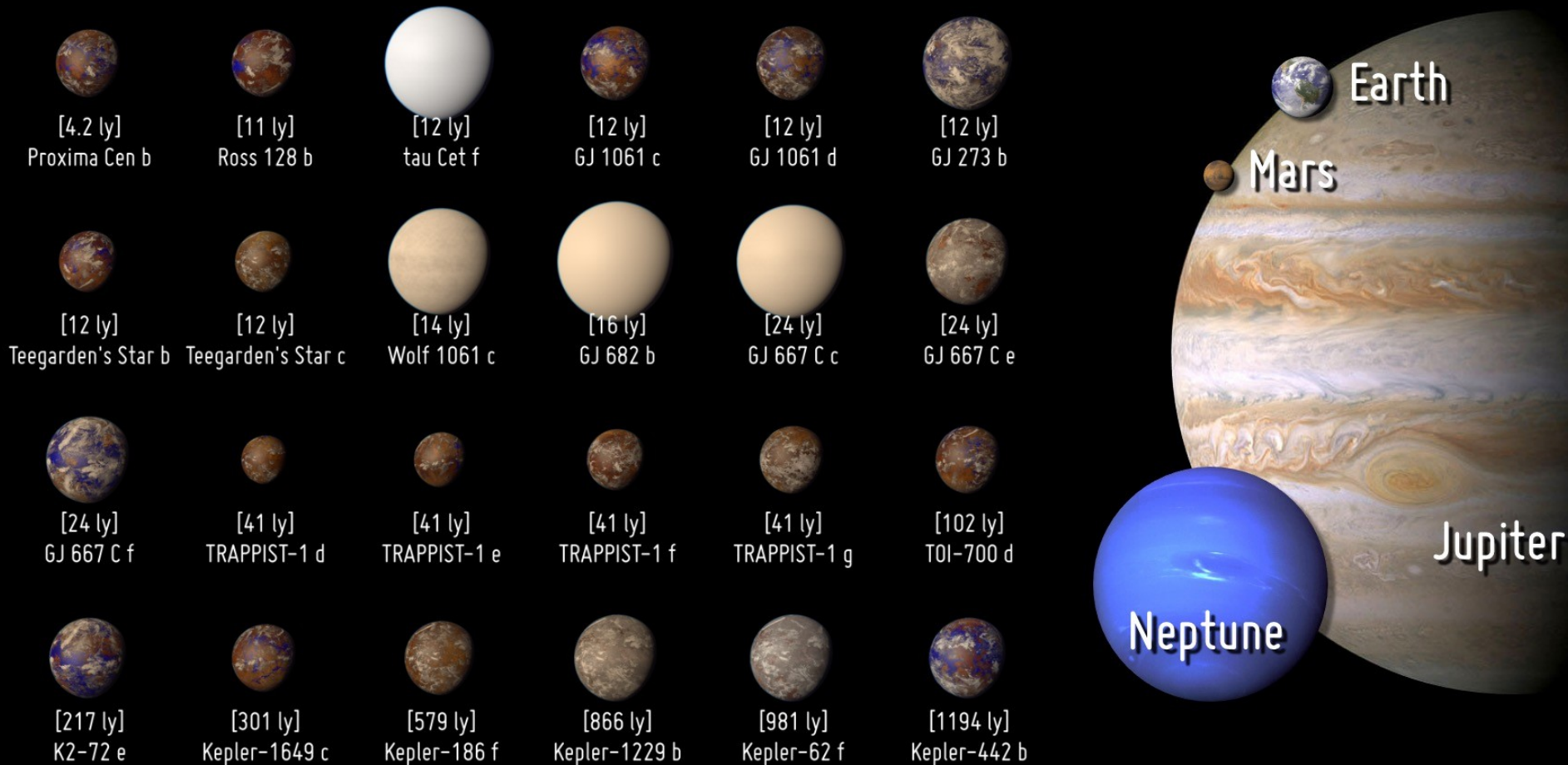
subterran = 0.1 – 0.5 M_E or 0.4 – 0.8 R_E , terran = 0.5 – 5 M_E or 0.8 – 1.5 R_E , superterran = 5 – 10 M_E or 1.5 – 2.5 R_E . M_E = Earth masses, and R_E = Earth radii.

A Possibilidade de Detectar Vida



Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)

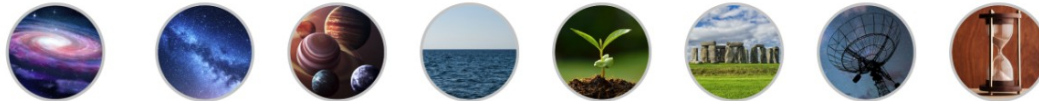


Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets.

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Oct 5, 2020

Vida Inteligente

Fórmula de Drake



$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

Number of **technologically advanced civilizations** in the Milky Way galaxy

Rate of formation of **stars** in the galaxy

Fraction of those stars with **planetary systems**

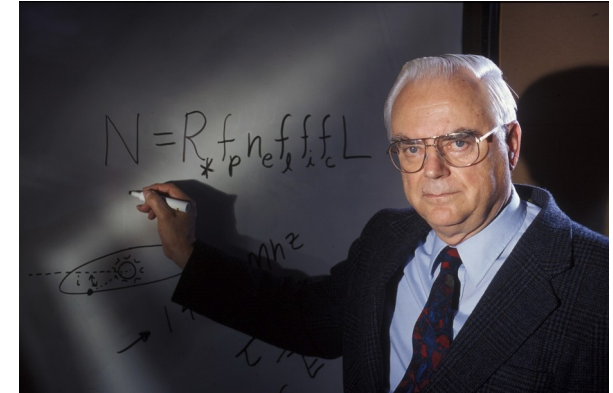
Number of planets, per solar system, with an **environment suitable for life**

Fraction of suitable planets on which **life actually appears**

Fraction of life-bearing planets on which **intelligent life emerges**

Fraction of civilizations that develop a **technology that releases detectable signs** of their existence into space

Length of time such civilizations release detectable signals into space



Frank Drake (1930-)

N : no. de civilizações extraterrestres na nossa

Galáxia com chances de estabelecer comunicação

R^* : taxa de formação de estrelas em nossa galáxia

f_p : fração de estrelas com planetas em órbita

n_e : número médio de planetas com potencial de desenvolver a vida por estrela que tem planetas

f_l : fração dos planetas com este potencial que realmente desenvolvem vida

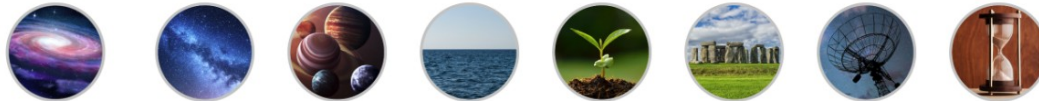
f_i : fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente

f_c : fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente e que têm o desejo e os meios necessários para estabelecer comunicação

L : tempo esperado de envio de sinais (= vida da civilização)

Vida Inteligente

Fórmula de Drake



$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

Number of **technologically advanced civilizations** in the Milky Way galaxy

Rate of formation of stars in the galaxy

Fraction of those stars with **planetary systems**

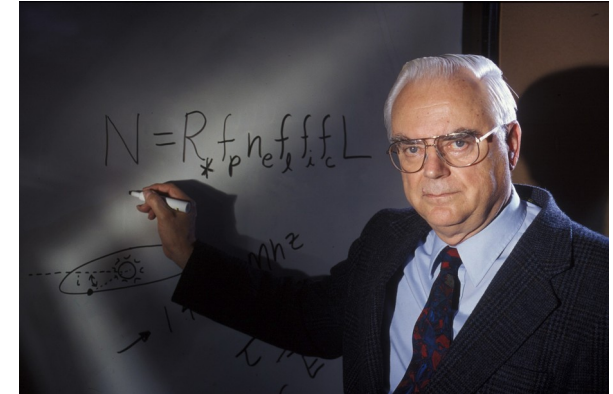
Number of planets, per solar system, with an **environment suitable for life**

Fraction of suitable planets on which **life actually appears**

Fraction of life-bearing planets on which **intelligent life emerges**

Fraction of civilizations that develop a **technology that releases detectable signs** of their existence into space

Length of time such civilizations release detectable signals into space



Frank Drake (1930-)

Estimativa original do Drake:

$$N = 7 \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 0.33 \cdot 0.01 \cdot 0.01 \cdot 10\,000 \cancel{a^{-1}a} = 2.31$$

Teoria da “Terra rara”:

$$N = 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-9} \cdot 0.2 \cdot 304 \cancel{a^{-1}a} = 9.1 \cdot 10^{-11}$$

Estimativa otimista:

$$N = 3 \cdot 1 \cdot 0.2 \cdot 0.13 \cdot 1 \cdot 0.2 \cdot 109 \cancel{a^{-1}a} = 156\,000\,000$$

Vida Inteligente

SETI

- *Search for extraterrestrial intelligence*
(Busca por Inteligência Extraterrestre)

Nome dado a **buscas científicas** por **vida inteligente extraterrestre**, por exemplo **monitorando radiação eletromagnética** do **espaço** para **detectar** sinais de **transmissões** de **civilizações** de **outros planetas**.

Começou logo após a invenção do rádio no **início do 20^{im} século**, e **desde os anos 1980** acontecem esforços internacionais.

Desde 2015 está funcionando o projeto *Breakthrough Listen*, um programa de 100 milhões de dólares, fundado no mesmo ano e financiado pelo empresário russo Yuri Milner.

Vida Inteligente

SETI / SERENDIP (*Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed Intelligent Populations*)

- Se **analisa** na maioria **observações** feitas para **outros fins** na faixa do **rádio** por **telescópios** como os **gigantes** de Arecibo (RIP) e FAST (vide aula Telescópios).



Vida Inteligente

SETI / SERENDIP

e **redes** de **antenas** como o *Allan Telescope Array*.

Todo mundo pode contribuir **doando** o **tempo ocioso** do seu **computador** pelo projeto **SETI@home**.

Por enquanto, **nada**
(na minha opinião).
=> **paradoxo** de **Fermi**



Vida Inteligente

Falta de comunicação

Por que será?

Possibilidades:

- As **civilizações extraterrestres** estão em modo de **vigilância passiva**, esperando se a nossa consegue chegar no nível apropriado para comunicação.
- Existem muitas comunicações mas nossa civilização ainda **não é capaz** de **detectá-los**.
- Estamos recebendo os sinais, mas **não** conseguimos **identificar** como **comunicações** de **civilizações**.

Vida Inteligente

METI (*Messaging to Extraterrestrial Intelligence*)

Também **tentamos contatar** as civilizações extraterrestres por própria conta:

Mensagem de Arrecibo

Composto por Drake e Sagan (1974)

Transmissão a uma possível civilização extraterrestre:

informações sobre o planeta Terra e a civilização humana,

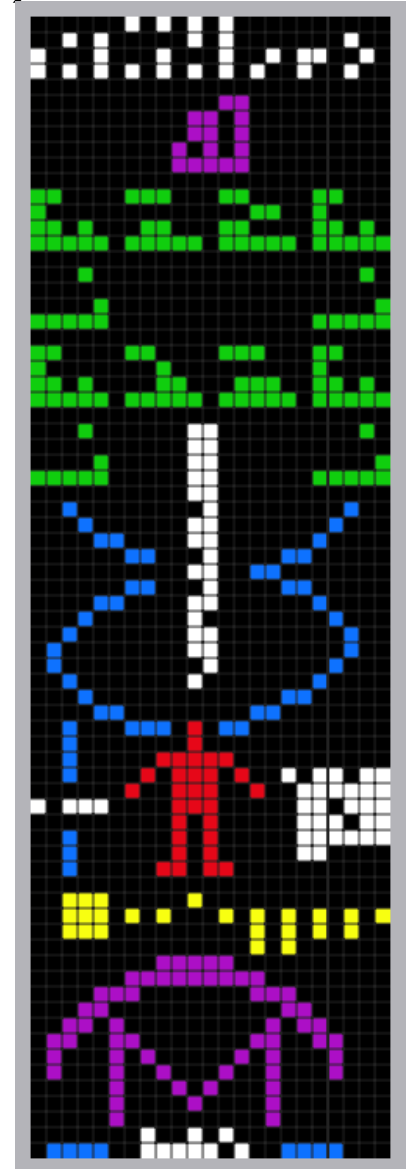
pelo SETI com o uso do radiotelescópio porto-riquenho Arecibo.

A mensagem foi composta por 1 679 dígitos binários, ~210 bytes,

transmitidos a 2 380 MHz e modulados por deslocamento por 10 Hz,

com força de 1 MW. A transmissão durou ~3 min:

- Números
- Elementos de DNA
- Nucleotídeos
- Hélice dupla
- Humano
- Sistema solar
- Telescópio



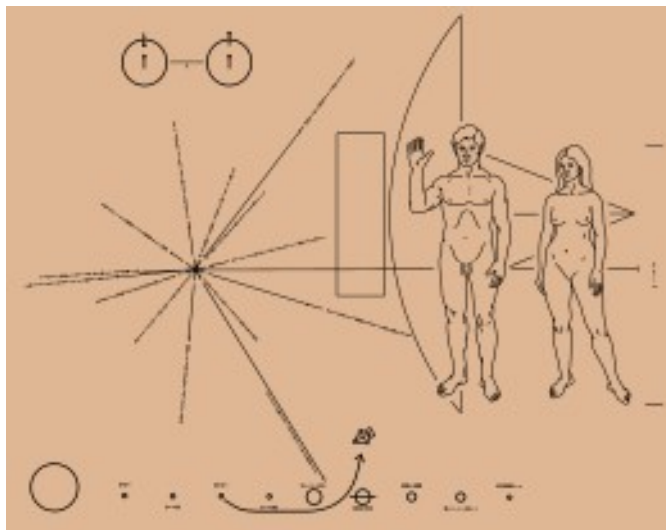
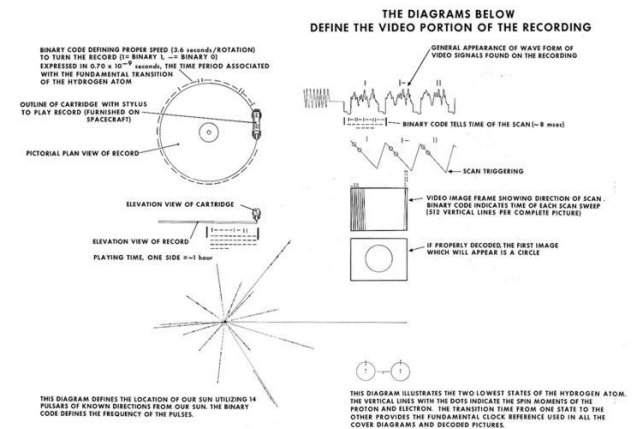
Vida Inteligente

METI (*Messaging to Extraterrestrial Intelligence*)

Também tentamos contatar as civilizações extraterrestres por própria conta

discos de ouro a bordo das sondas Voyager I e II e placas nas Pioneer

EXPLANATION OF RECORDING COVER DIAGRAM



Referências

Este assunto não está no livro, então coloco umas dicas do prof. Jiří:

Livros

- C. Sagan. *O mundo assombrado pelos demônios*, Companhia das Letras, 1996.
- O. T. Matsuura. *Vida Extraterrestre*, Ed. Relume Dumará, 2000
- S. R. Mantioli (Ed.). *Biologia Molecular e evolução*, Ed. Holos, 2001
- P. Ward e D. Brownlee. *Sós no Universo*, Ed. Campus, 2001
- L. Margulis e D. Sagan. *Microcosmos*, Ed. Cultrix, 2002
- E. D. Barcelos. *Telegramas para Marte*, Cia. Das Letras, 2003
- Lunine, J. *Astrobiology: a multidisciplinary approach*, Ed. Addison-Wesley, 2005
- G. Horneck & P. Rettberg, *Complete Course in Astrobiology*, Wiley-VCH, 2007.
- M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin & J. Reisse, *Lectures in Astrobiology part 1 – The Early Earth and Other cosmic Habitats for Life*, Springer, 2006.
- M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse, *Lectures in Astrobiology I part 2 – From Prebiotic Chemistry to Origin of Life on Earth*, Springer, 2006.
- I. Gilmour & M.A. Spehton, *An Introduction to Astrobiology*, The Open University, Cambridge, 2004.
- J.M. Greenberg, C.X. Mendoza-Gomez & V. Pirronello, *The Chemistry of Life's Origin*, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1993.

Referências

Artigos de divulgação

- E. D. Barcellos e J. Quillfeldt. *Onde estão todos os outros?*
Scientific American Brasil, vol. 19, 2003
- L. M. Krauss e G. Starkmann. *O destino da vida*. Vol 19, 2003.
- D. Zaia. *A busca de vida extraterrestre: uma grande aventura científica*. **Revista Ciência Hoje**, Vol. 30, no. 175, págs 20-27, 2001
- J. Schneider. *Strategies to search for life in the Universe*. **Preprint eletrônico**
(<http://xxx.lanl.gov/abs/9604131>)

Artigos especializados

- H. Fraser; M. McCoustra; D. Williams. *The molecular universe*. **Astronomy and Geophysics**, 43, pág. 10, 2002
- J. Kasting e D. Catling. *Evolution of a habitable planet*.
Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 41, pag. 429, 2003
- W. Bains. *Many chemistries could be used to build living systems*. **Astrobiology**, vol. 4, no. 2, 2004
- C. Chyba e K. Hand. *Astrobiology: the study of the living universe*.
Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 43, pag. 31, 2005
- D. Catling et al. *Why O₂ is required by complex life on habitable planets and the concept of planetary "oxygenation" time*. **Astrobiology**, vol. 5, no. 3, pág. 415, 2005
- L. Mix et al., *The astrobiology primer: an outline of general knowledge*.
Astrobiology, vol. 6, no. 5 , pág. 735, 2006
- P. Ehrenfreund et al. *Experimentally tracing the key steps in the origin of life: the aromatic world*.
Astrobiology, vol. 6, no. 3, pág. 490, 2006

Referências

Filmes para assistir (YouTube etc):

History Channel – Série *Universo* (7 temporadas)

History Channel – Série *Como funciona universo*
(muitos episódios)

History Channel – *Como nasceu nosso planeta*

History Channel – Série *Cosmos: uma odisséia do espaço* (muitos episódios)

BBC:

Caminhando com os monstros

First Life: The Arrival (A Chegada),

The Conquest (A Conquista)



Universidade Federal do ABC

Noções de Astronomia e Cosmologia

FIM PRA HOJE

