

# Vida fora da Terra

Professor Allan Schnorr Müller

IF/UFRGS

# O quão provável é a vida em outros locais da Galáxia?

1. No mínimo uma em cada duas estrelas possuem planetas...
2. A Via-Láctea possui cerca de 100 Bilhões de estrelas, e estimamos que existam de 1 a 10 planetas por estrela...
3. Logo, temos de 5 a 50 Trilhões de planetas somente na Via-Láctea!

**Isso sem contar as novas estrelas que se formam!**



10 000 ly

# O quão provável é a vida em outros locais da Galáxia?

R.: depende do tipo de vida que espera-se encontrar.

**Suposição:** a atmosfera ideal para a vida é como a da Terra.

Que tipo de vida é mais comum na Terra?



10 000 ly





## Vida na terra: escalas de tempo

1. **Seres multicelulares:** surgiram há cerca de 1.5 Bilhões de anos ( $\approx 30\%$  da vida da Terra);
2. **Animais como conhecemos:** há apenas 500 Milhões de anos;
3. **Vida inteligente (homem):**  $\approx 200$  mil anos ( $0.01\%$  do tempo de existência da Terra)

Mas então quem dominava (e ainda domina) a vida na Terra?!



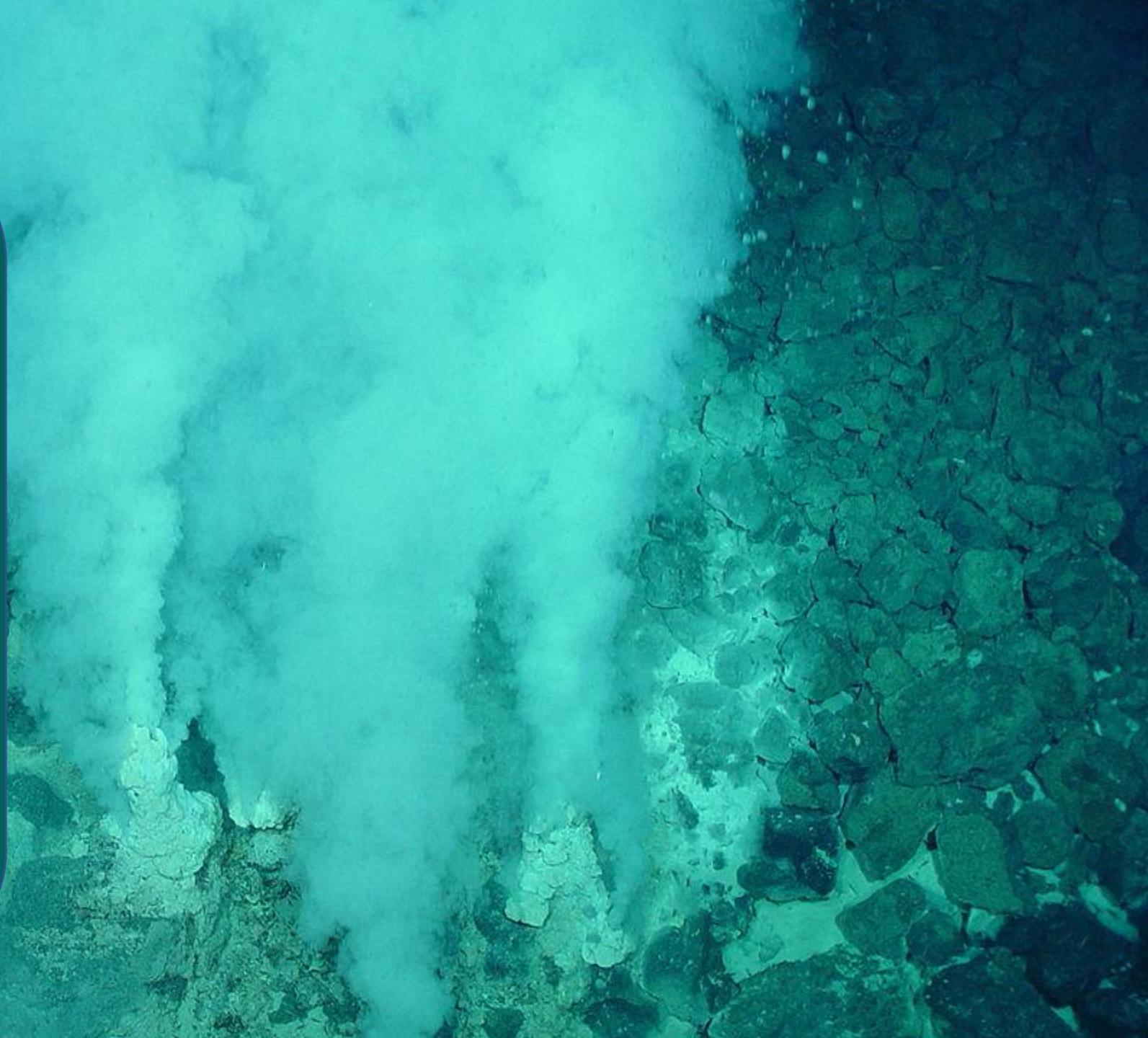
The image features a multitude of blue, textured, 3D-rendered bacteria. The bacteria vary in shape, including long, rod-like forms, shorter, thicker rods, and some spherical or oval shapes. They are scattered across the frame, creating a sense of depth and density. The lighting highlights the intricate, almost fibrous texture of each bacterium. The background is a solid, dark blue, which makes the lighter blue bacteria stand out prominently.

Bactérias!




# Como Surgiu a vida na Terra?

- Tudo indica que basta haver condições por um período longo de tempo e a vida irá surgir.
- Moléculas orgânicas são muito frágeis para se formar na superfície dos planetas rochosos primitivos. De onde vieram?
- Se formaram com matéria orgânica depositada por cometas e as condições químicas eram próprias para formação do DNA.

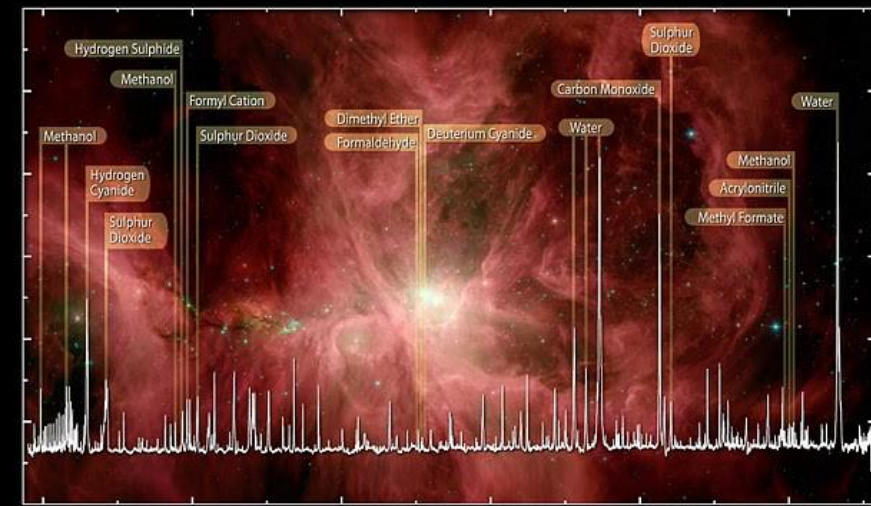




- 
- Análise de alguns meteoritos carbonáceos revelou a presença de aminoácidos, como por exemplo, o meteorito Murchison onde foram detectados 74 diferentes aminoácidos e dezenas de outros compostos orgânicos;
  - Há mais diversidade orgânica de aminoácidos em meteoritos do que na própria vida na Terra!



- Outro dado interessante é a detecção de HCN (ácido cianídrico) e de H<sub>2</sub>O (água) na nebulosa de Órion (berçário de estrelas);
- Em algumas nuvens interestelares foram identificadas moléculas mais complexas como C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (álcool etílico);
- Além disso, radicais e moléculas orgânicas e água são detectadas nos cometas, que seriam os "fecundadores" espaciais.



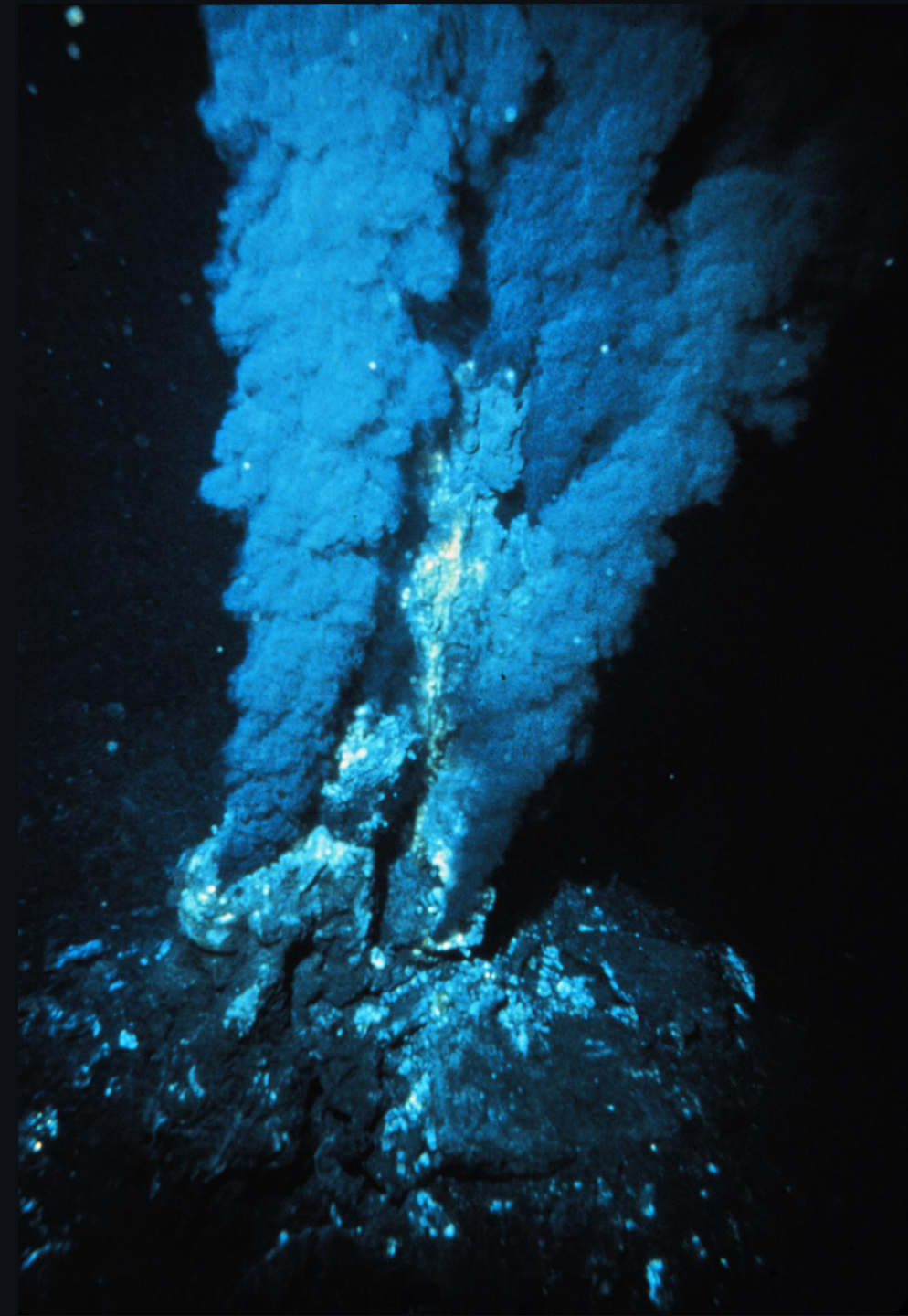
HIFI Spectrum of Water and Organics in the Orion Nebula

© ESA, HEXOS and the HIFI consortium  
E. Bergin



## Como Surgiu a vida na Terra?

- Tudo indica que basta haver condições por um período longo de tempo e a vida irá surgir;
- Aminoácidos complexos se formam dentro dos cometas;
- Reações geoquímicas mantiveram os cometas quentes no seu interior, podendo assim abrigar bolsas de água onde até mesmo a vida poderia se formar;
- Em poças rasas e quentes na Terra, as condições químicas eram próprias para formação do DNA;
- Cientistas ainda não criaram vida em laboratório. Os Biólogos ainda não sabem como moléculas orgânicas simples se juntam para formar sistemas para autorreplicação.







## Quais condições a vida suporta?

- **Resposta:** organismos extremófilos;
- Temperaturas altas: 110°C a 121°C;
- Temperaturas baixas: -17°C a -20°C;
- Alcalinidade: pH > 11;
- Acidez: pH -0.06 a 1.0;
- Radiação ionizante: 30.000Gy;
- Radiação UV: 5.000 J/m<sup>2</sup>;
- Pressão: 1.100 bar;
- Salinidade: aw ≈0.6;
- Aridez: ≈60%.





## *Deinococcus radiodurans*

- Sobrevive ao frio, desidratação, vácuo e ácido.
- “Bactéria mais resistente do mundo”.

## **Thermococcus gammatolerans**

- Vive em fontes hidrotermais 2.000 metros abaixo do nível do mar;
- Temperatura ideal: entre 55–95°C;
- Possui a maior resistência à radiação conhecida: suporta uma dose de raios gama de 30.000 gray (Gy);
- 5 Gray é o suficiente para matar humanos.



A scanning electron micrograph (SEM) showing numerous rod-shaped, slightly curved cells of GFAJ-1. The cells are light-colored against a darker background. A scale bar at the bottom right indicates 5 micrometers.

## GFAJ-1

- Foi cultivado e descoberto por Felisa Wolfe-Simon, uma astrobióloga da NASA;
- O organismo foi isolado e cultivado em 2009 a partir de sedimentos recolhidos das margens do lago Mono, na Califórnia;
- O lago Mono é hipersalino e muito alcalino;
- Tem também uma das mais altas concentrações naturais de Arsênio do mundo.

5  $\mu\text{m}$



A scanning electron micrograph (SEM) showing numerous rod-shaped bacteria, identified as GFAJ-1, scattered across a dark, textured surface. The bacteria are light-colored and appear to be of varying lengths and orientations. A scale bar in the bottom right corner indicates a length of 5 micrometers.

## GFAJ-1

- Capaz de prosperar **em** meios com pequenas quantidades de fósforo;
- Resistente a grandes quantidades de Arsênio, geralmente venenoso;
- A descoberta deste microorganismo PODE indicar que a vida pode formar-se na ausência de grandes quantidades de fósforo disponível, aumentando assim a probabilidade de encontrar vida em outros locais do Universo.

5  $\mu\text{m}$





**Sea Vents**

**Yellowstone  
Hotspots**

**Antarctica  
Subglacial  
Lakes**

**Atacama  
Desert**

**Europa**



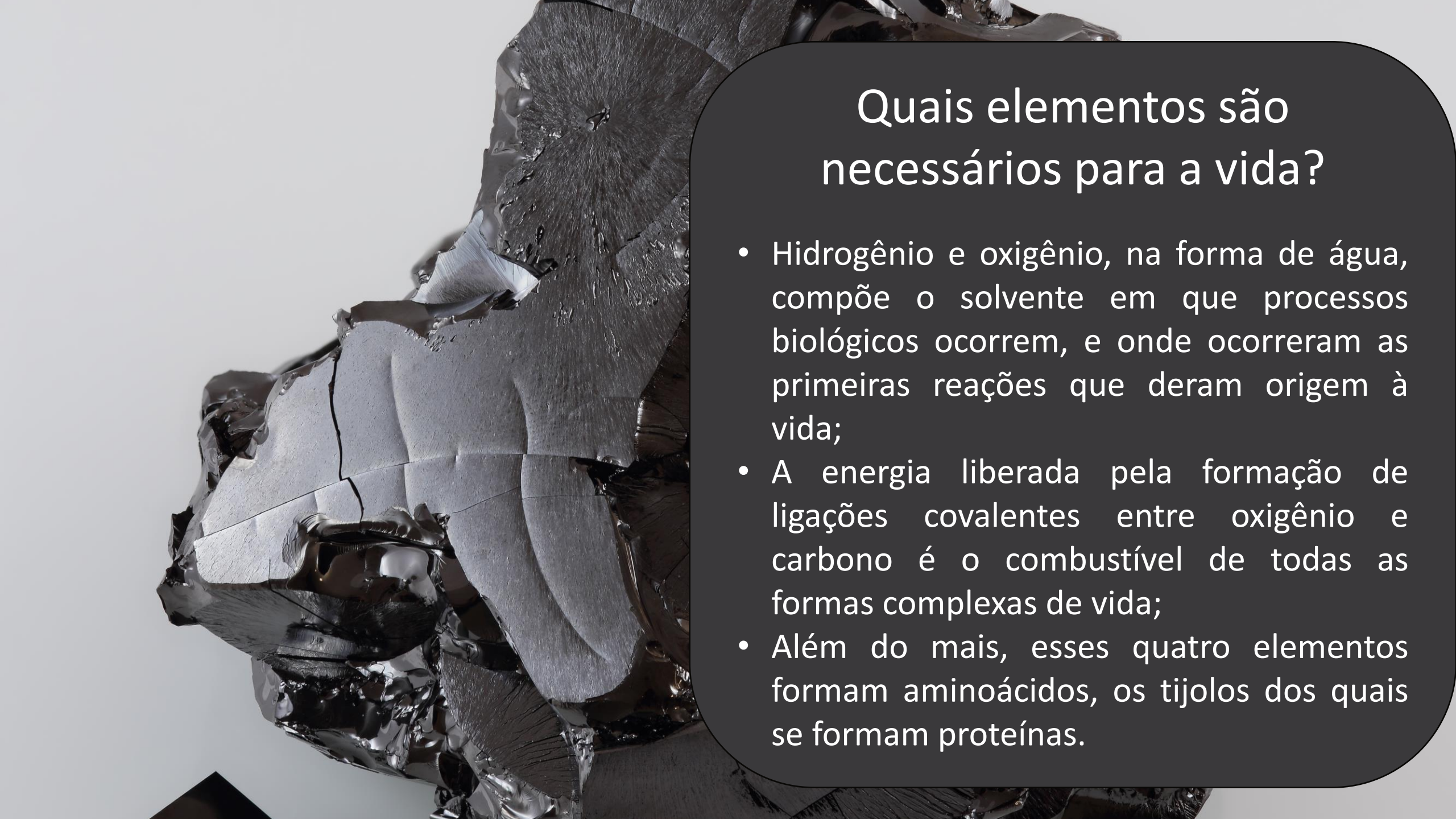




## Quais elementos são necessários para a vida?

- Assume-se que a vida extra-terrestre seja baseada na mesma bioquímica da Terra: carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, os elementos essenciais para a vida são também os elementos reativos mais comuns do universo;
- Carbono tem uma habilidade sem paralelo de se ligar consigo mesmo e formar uma enorme variedade de estruturas variadas e intrincadas;
- Isso o torna componente ideal dos complexos mecanismos que fazem parte das células.





## Quais elementos são necessários para a vida?

- Hidrogênio e oxigênio, na forma de água, compõe o solvente em que processos biológicos ocorrem, e onde ocorreram as primeiras reações que deram origem à vida;
- A energia liberada pela formação de ligações covalentes entre oxigênio e carbono é o combustível de todas as formas complexas de vida;
- Além do mais, esses quatro elementos formam aminoácidos, os tijolos dos quais se formam proteínas.





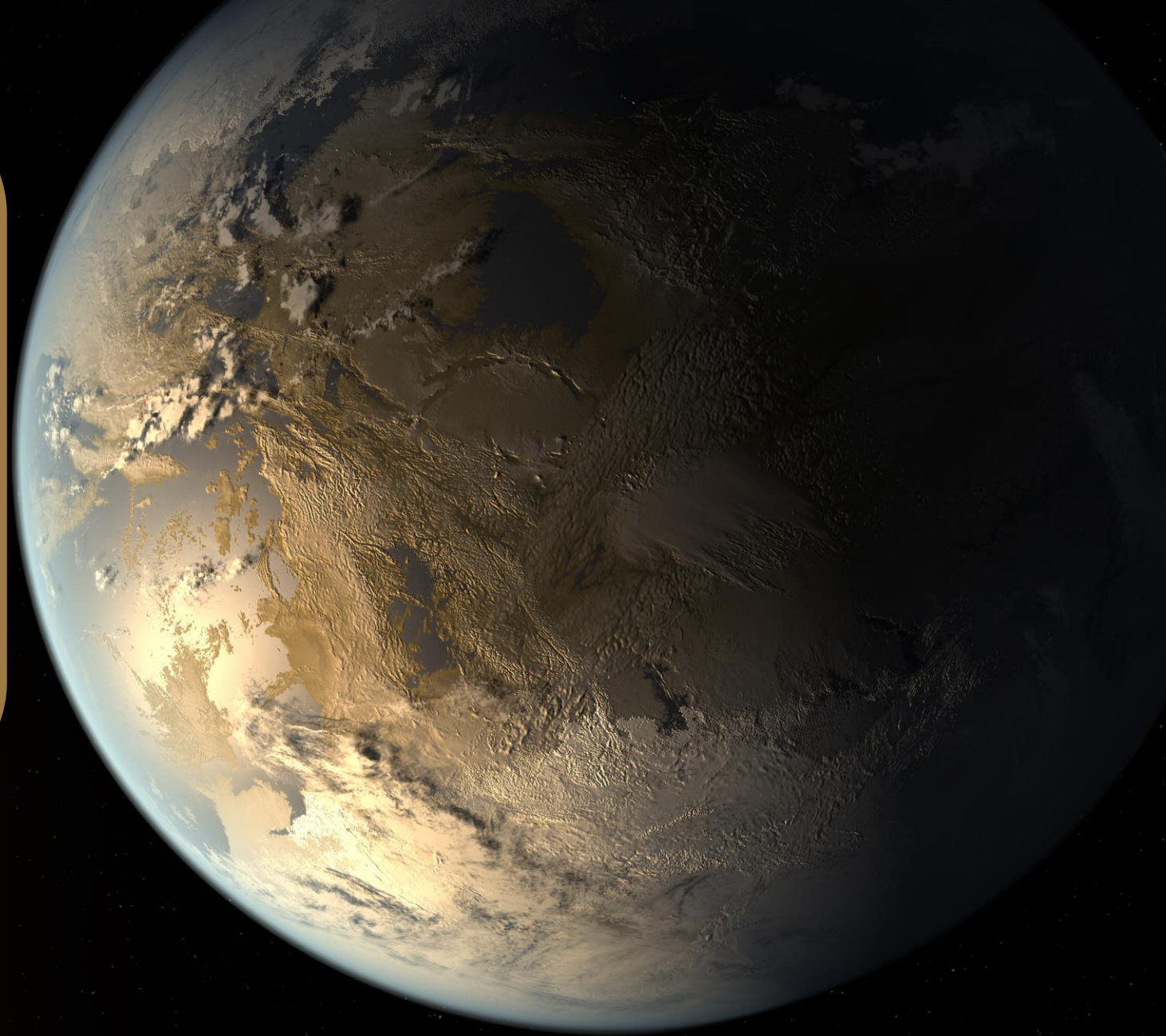
## Vida sem Carbono?

- Silício tem propriedades semelhantes ao carbono e pode criar moléculas longas o suficiente para carregar informações biológicas;
- Porém, silício não possui a habilidade de se ligar a diversos tipos de átomos, algo necessário para o metabolismo;
- Além disso, silício interage com poucos tipos de átomos;
- Átomos de silício também dificilmente formam ligações duplas, algo comum na química bio-orgânica.



# O que torna um planeta habitável?

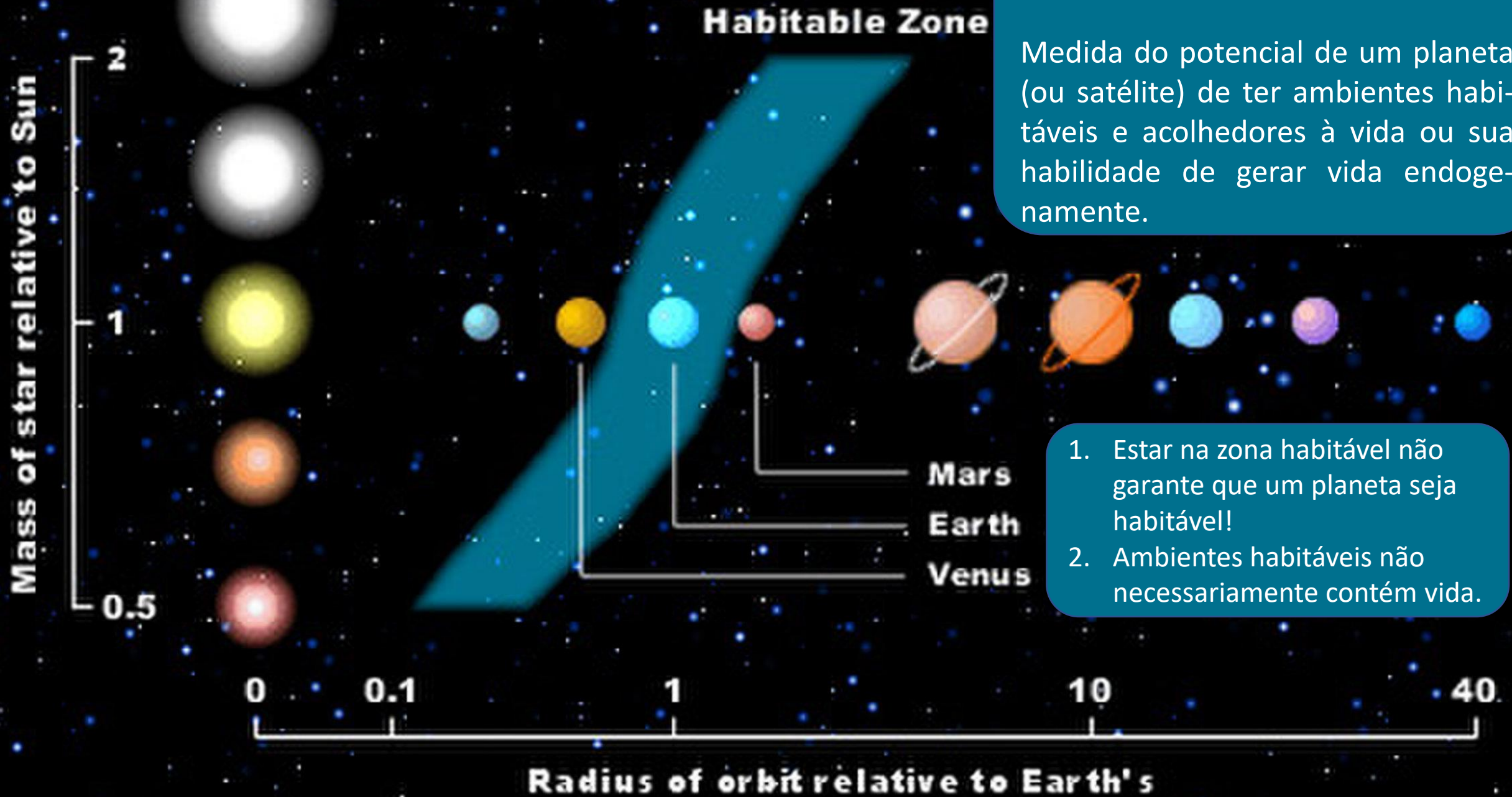
1. Extensas regiões de água líquida;
2. Condições favoráveis para o surgimento de moléculas orgânicas complexas;
3. Fontes de energia para sustentar o metabolismo (estrelas).





## Habitabilidade Planetária

Medida do potencial de um planeta (ou satélite) de ter ambientes habitáveis e acolhedores à vida ou sua habilidade de gerar vida endogenamente.



1. Estar na zona habitável não garante que um planeta seja habitável!
2. Ambientes habitáveis não necessariamente contém vida.



## Limite interior da zona habitável:

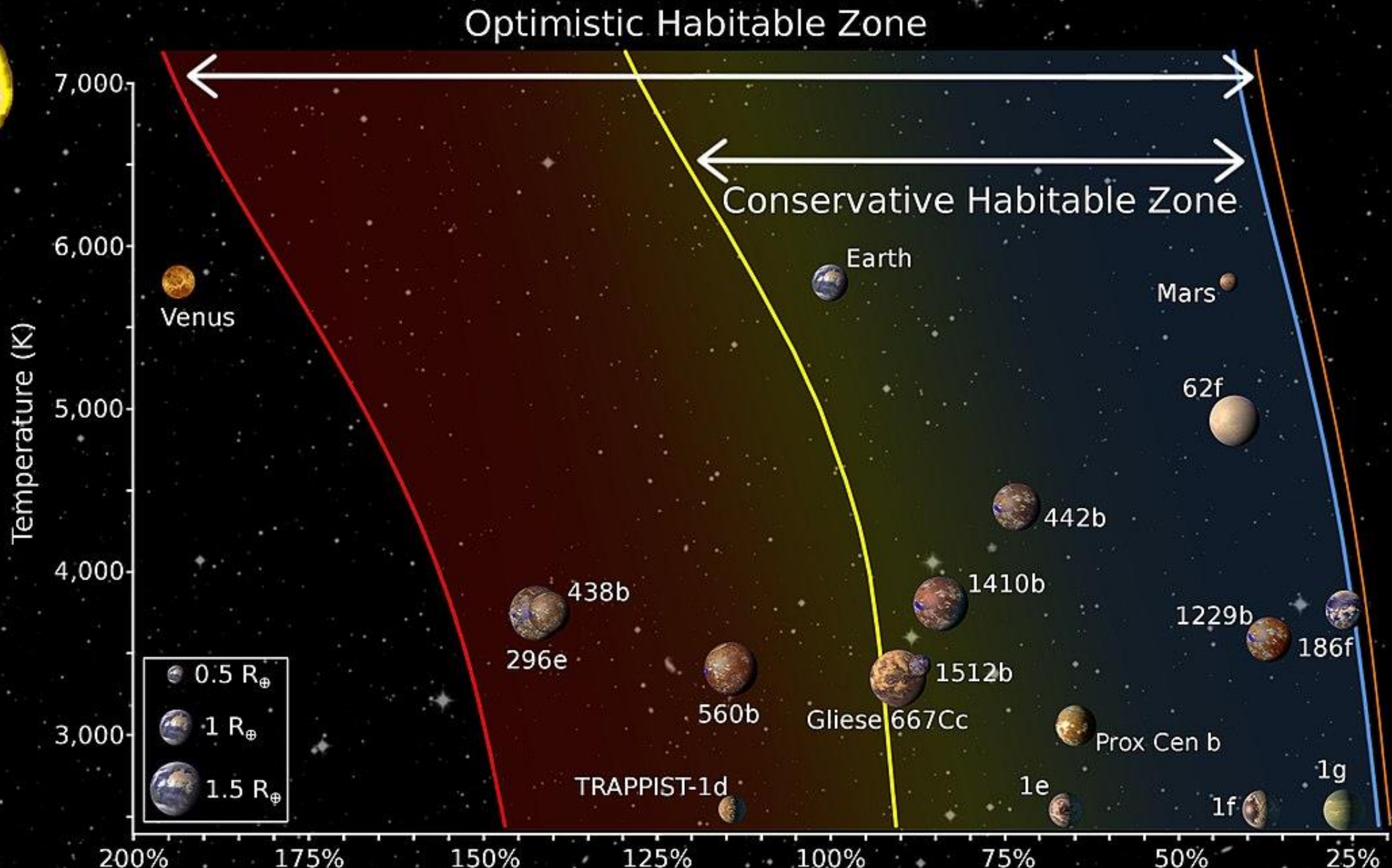
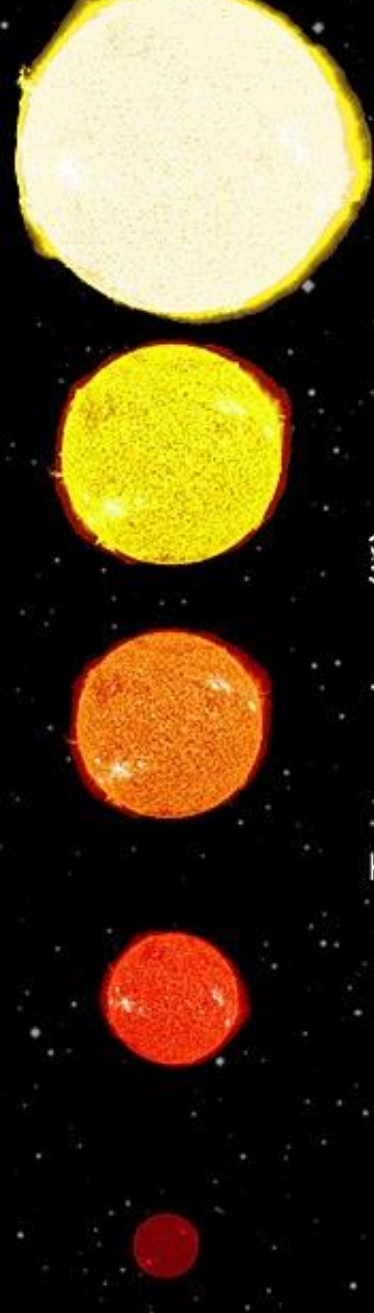
1. Efeito estufa incontrolável vaporiza a água;
2. Água é dissociada em H + O, H é perdido para o espaço.

## Limite exterior da zona habitável:

1. Mesmo o mais potente efeito estufa não consegue manter o planeta acima da zona de congelamento;
2. CO<sub>2</sub> condensa.









## Classe Espectral das Estrelas

- Indica a temperatura de sua fotosfera (proporcional à massa).
- As classes espectrais apropriadas para estrelas habitáveis são F, G e K, com temperaturas entre 3,700 °C e 6,700 °C;
- Entre 5% a 10% das estrelas da Via láctea têm temperaturas nessas faixas.

M

K

G

F

A



B



O

M

K

G

F

A

B

O



## Por que essas classes?

1. Estrelas com essas temperaturas vivem alguns bilhões de anos: a vida tem tempo para evoluir;
2. Elas emitem radiação UV o suficiente para disparar dinâmicas atmosféricas como formação de ozônio, mas não tanto que destrói moléculas em seres vivos;
3. Água líquida pode existir na superfície de planetas que estão distantes o suficiente para não terem rotação sincronizada.

M

K

G

F

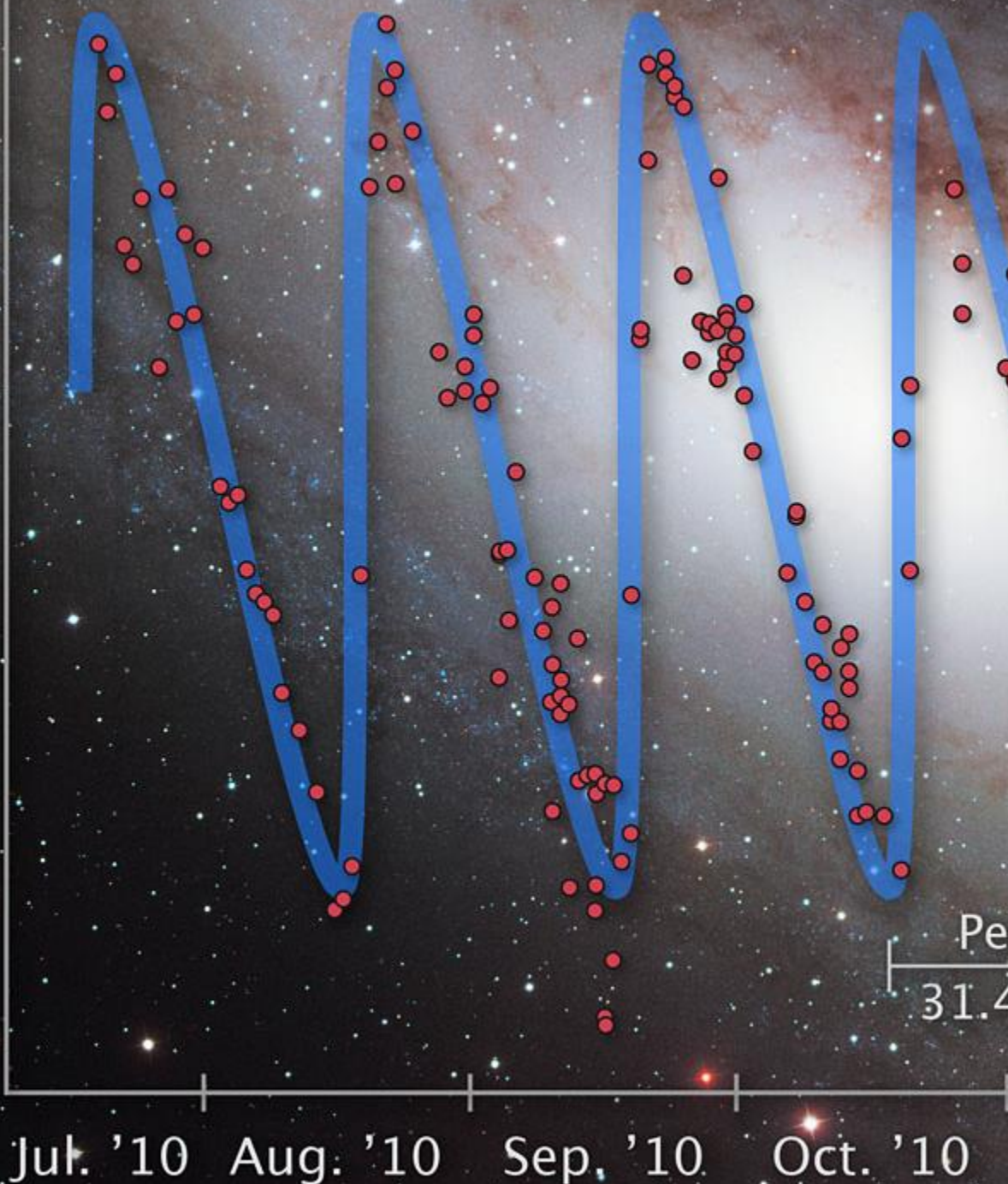
A

B

O



Brightness



## Estrelas variáveis:

- Algumas estrelas passam por intensas variações em seu brilho;
- Essas estrelas são consideradas como improváveis de terem sistemas de planetas variáveis;
- Seres vivos adaptados a uma específica faixa de temperaturas não sobreviveriam a grandes variações;
- Ademais, variações na luminosidade são acompanhadas de massivas quantidades de raios gama e raios-x que são nocivos à vida.



## Estrelas binárias:

- A separação entre estrelas binárias pode variar de menos que 1UA até varias centenas de UA;
- Em caso de grandes separações, efeitos gravitacionais seriam desprezíveis em uma planeta orbitando uma das estrelas e o potencial de habitabilidade não será afetado;
- Porém, se a separação entre as estrelas for muito menor, uma órbita estável para o planeta será impossível;
- Se a distância do planeta até a estrela primária for maior do que um quinto da distância mínima entre as duas estrelas, a estabilidade orbital não é garantida.





## Estrelas binárias:

- Um estudo do sistema estelar Alpha Centauri mostraram que binárias não podem ser ignoradas na busca por planetas;
- Centauri A e B tem uma distância de 11 UA na menor aproximação (média de 23 UA) e ambas devem possuir zonas habitáveis.



# Metalicidade

- É a proporção de elementos mais pesados que H e He na composição de uma estrela;
- Uma maior metalicidade significa uma maior quantidade de elementos pesados disponíveis no disco proto-planetário para a formação de planetas;
- Planetas formados em torno de uma estrela pobre em metais provavelmente são pouco massivos, logo não adequados para a vida;
- Pesquisas recentes: “estrelas com planetas, ou ao menos com planetas semelhantes aos que encontramos até hoje, são claramente mais ricas em metais do que estrelas sem sistemas planetários”;
- Consequência: é improvável que vida existiu nos primórdios do universo, pois estrelas mais antigas são pobres em metais.





## Habitabilidade de Planetas de Baixa Massa

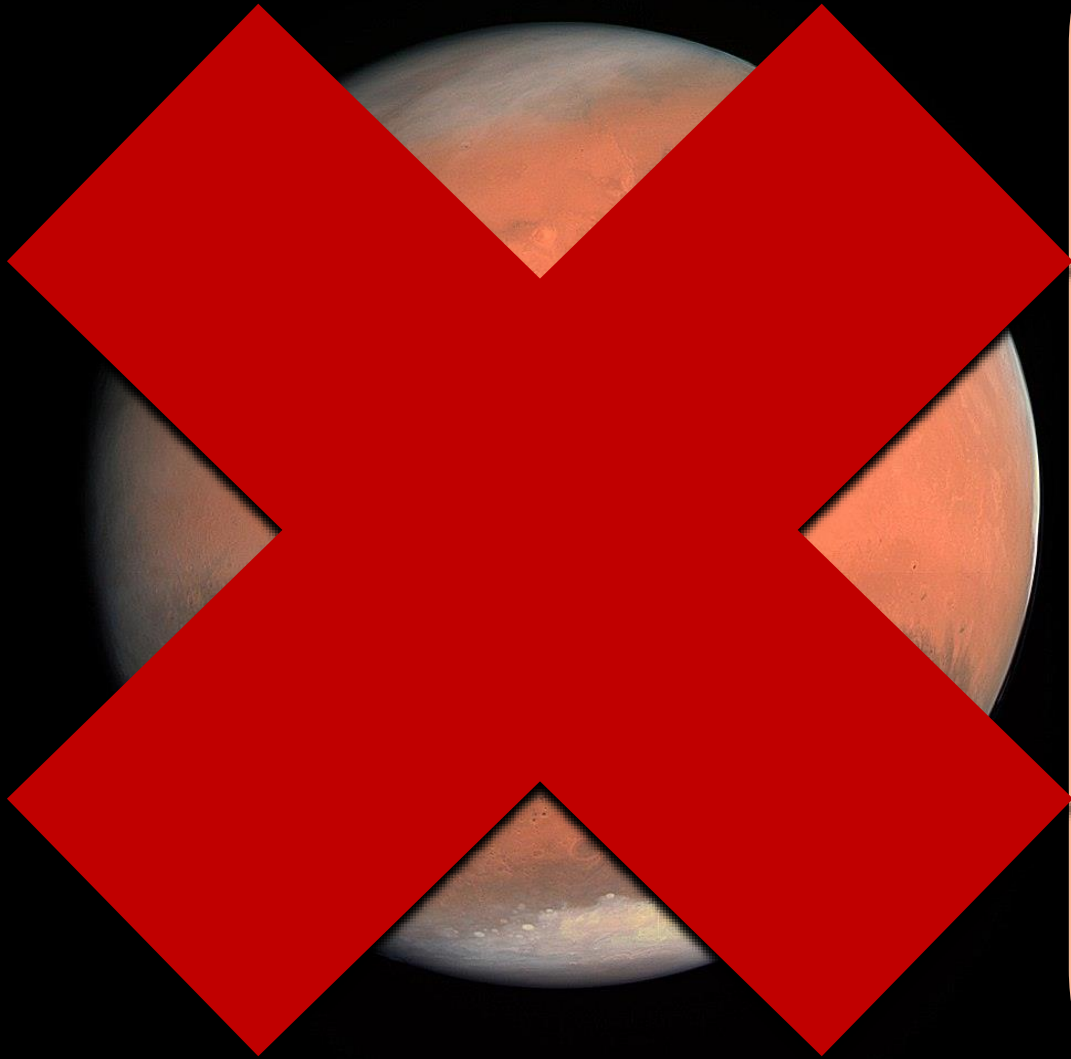
Planetas de baixa massa são maus candidatos para abrigar vida por dois motivos:

1. Sua fraca gravidade faz a retenção de uma atmosfera improvável. Moléculas facilmente alcançam a velocidade de escape e são perdidas para o espaço;
2. Planetas menores possuem menores diâmetros e, por consequência maior razão superfície/volume que planetas mais massivos. Corpos com essas características tendem a perder a energia restante da sua formação rapidamente e se tornam geologicamente mortos.

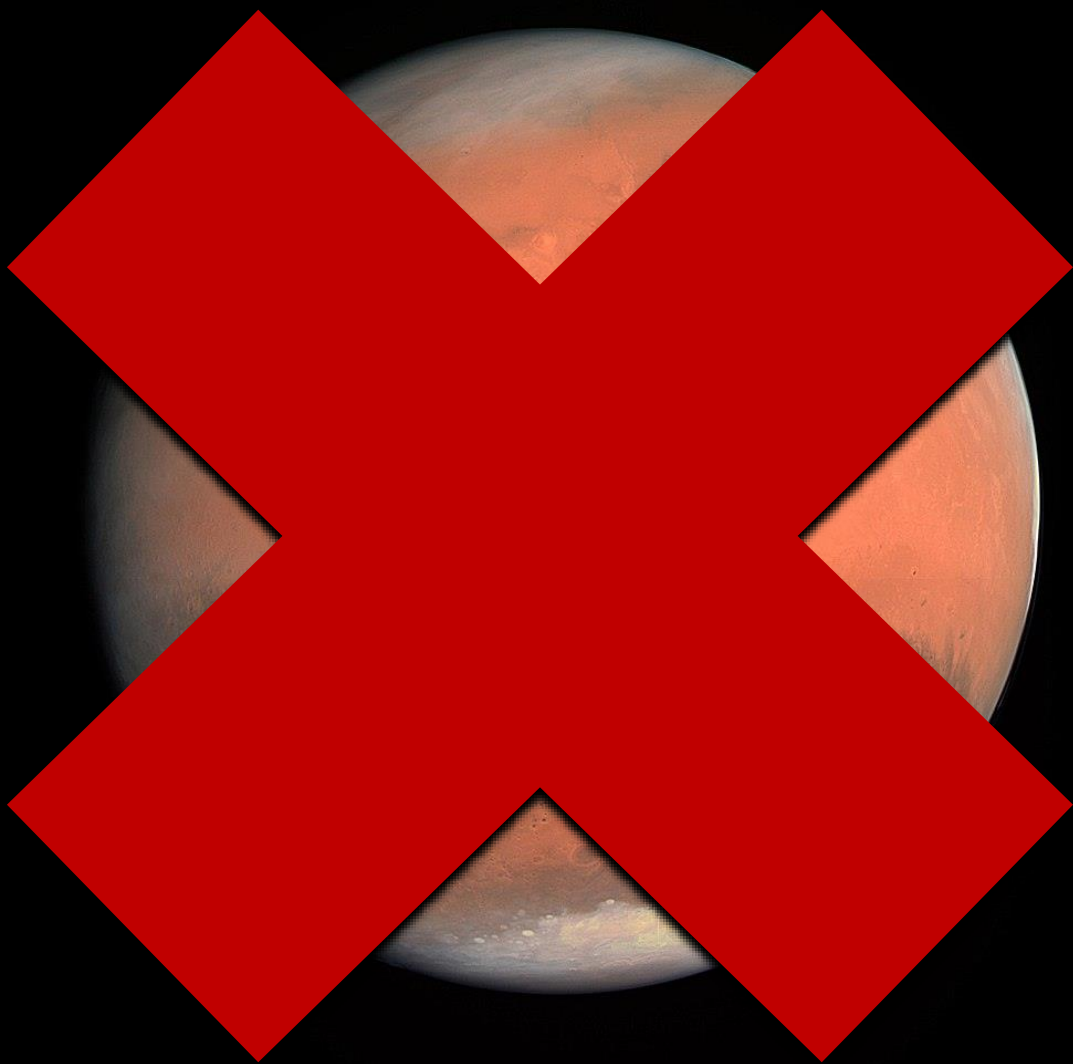


## Habitabilidade de Planetas de Baixa Massa

- Planetas sem atmosferas espessas não possuem a matéria necessária para a bioquímica primitiva, têm pouco isolamento térmico e pobre transferência de calor ao longo de sua superfície;
- Por exemplo, Marte é mais frio que a Terra seria na mesma distância ao Sol;
- Além disso, uma tênue atmosfera oferece menor proteção contra meteoritos e radiação nociva à vida;
- Ademais, em uma atmosfera menos densa que 0,006 vezes a da Terra, a água nunca existirá em estado líquido por causa da baixa pressão.



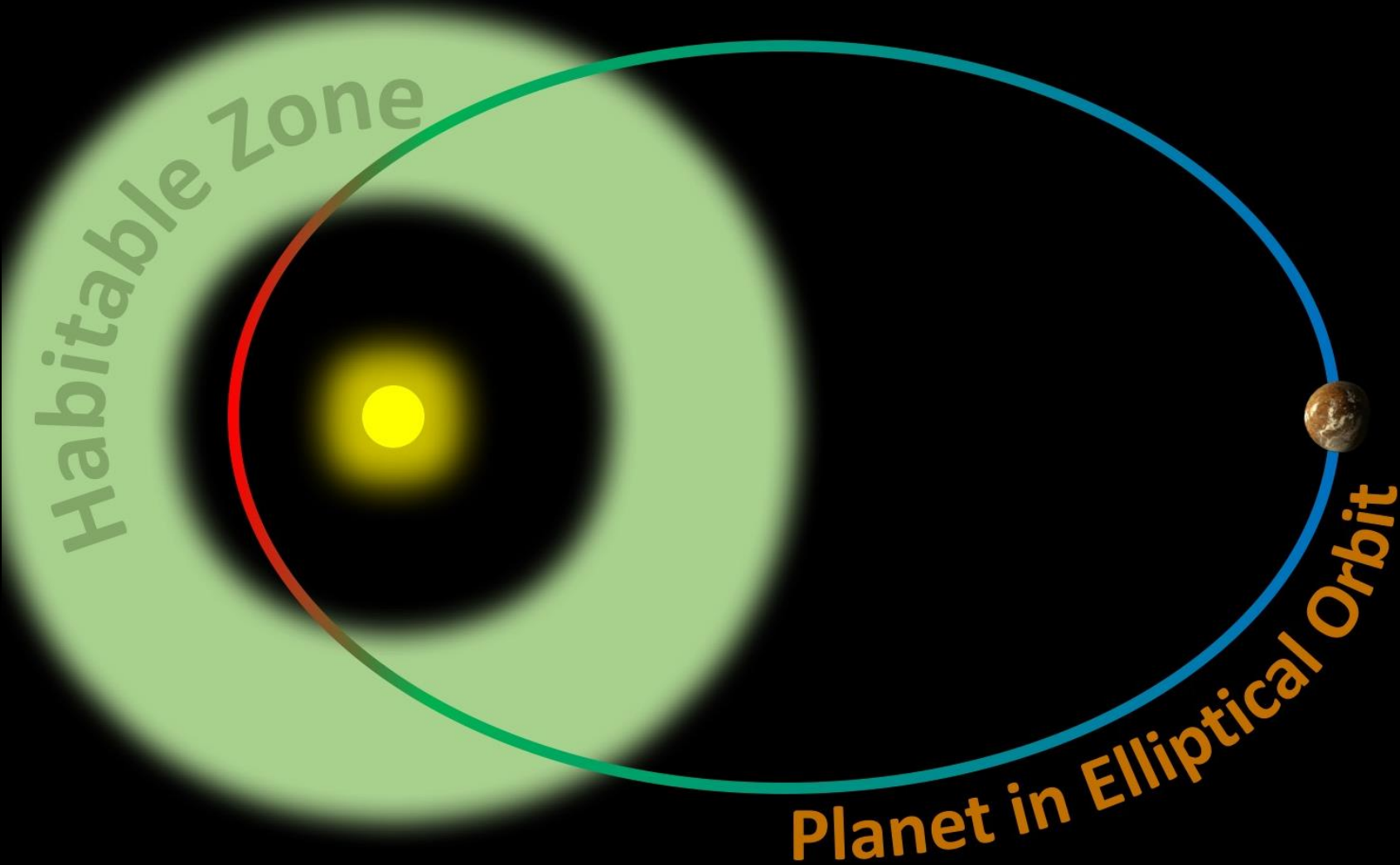




## Habitabilidade de Planetas de Baixa Massa

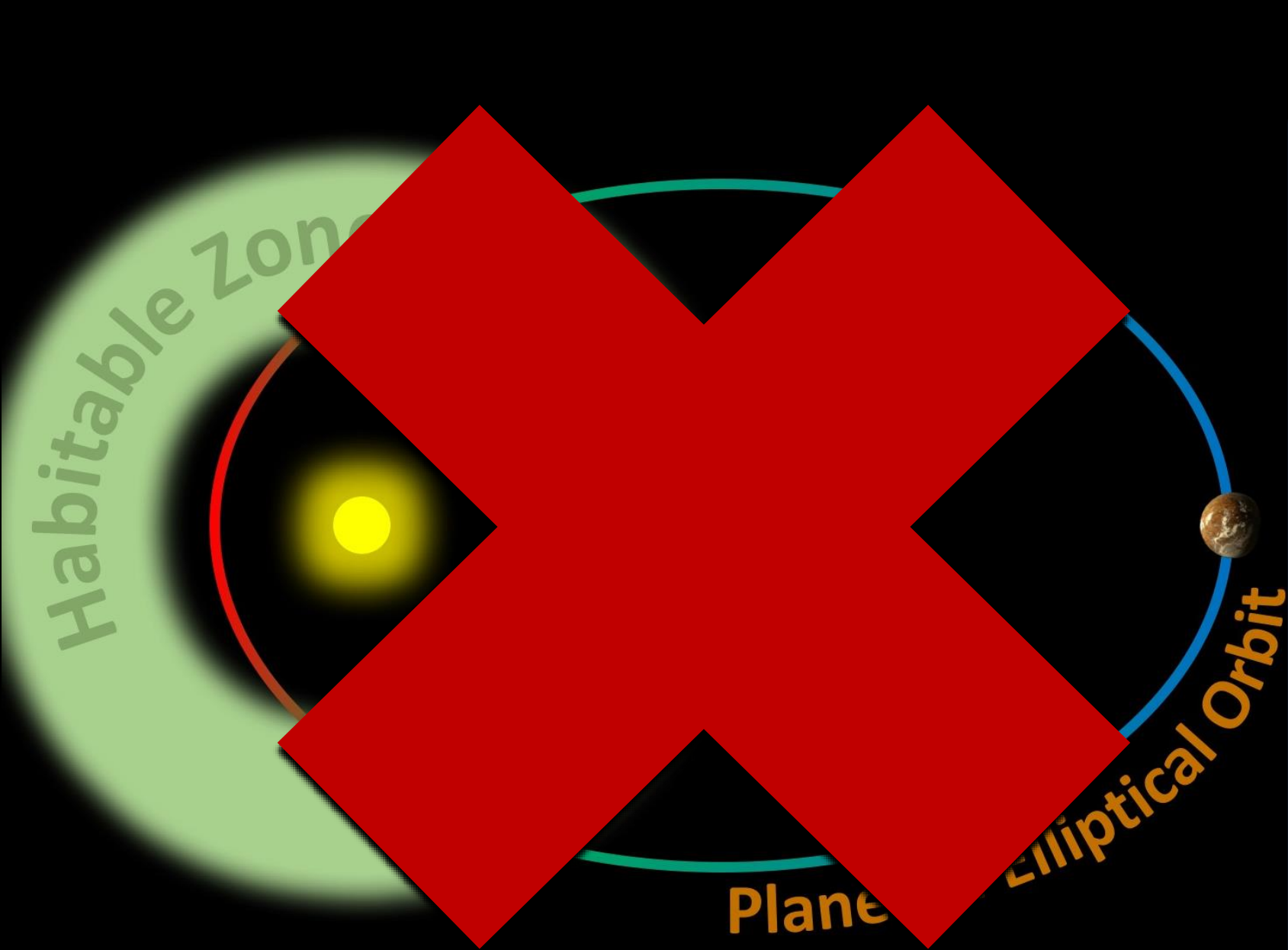
- Planetas geologicamente mortos não possuem vulcões, terremotos e atividade vulcânica, processos que abastecem a superfície com materiais que sustentam a vida e a atmosfera com controladores de temperatura ( $\text{CO}_2$ );
- Sem tectônica de placas, não há reciclagem de minerais e nem células convectivas como as que geram o campo magnético da Terra.





## Órbitas e Habitabilidade

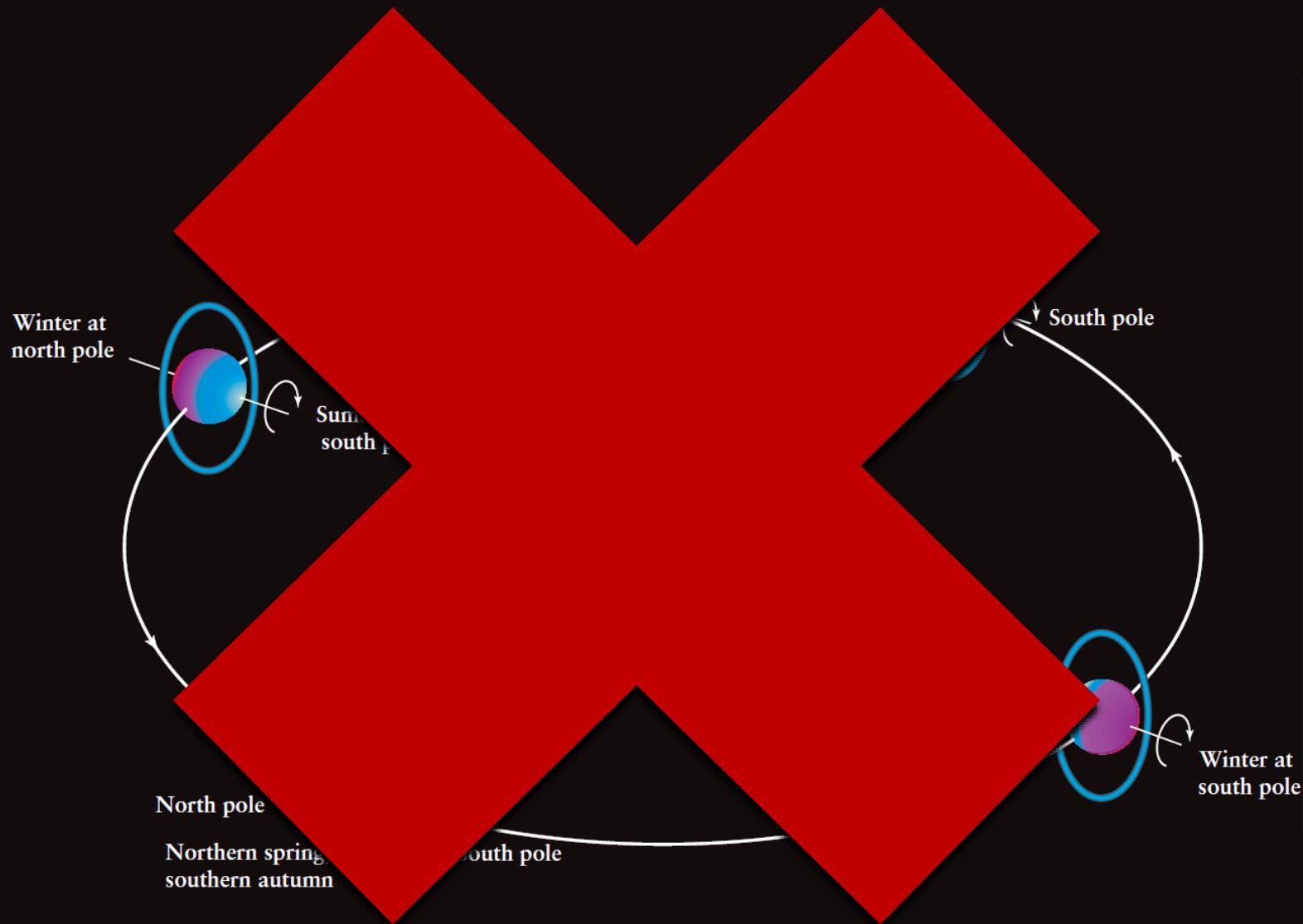
- Excentricidade orbital é uma medida do alongamento da órbita;
- Quanto maior a excentricidade, maior a variação da temperatura na superfície de um planeta;
- Apesar de serem adaptáveis, seres vivos têm um limite de variação que toleram;
- Por exemplo, se os oceanos da Terra estivessem alternadamente fervendo e congelando, é difícil imaginar a vida como conhecemos evoluindo;
- Quanto mais complexo o organismo, menor a variação de temperatura que toleram.



## Órbitas e Habitabilidade

- A órbita da Terra é quase circular, com uma excentricidade de  $\approx 0.02$ ;
- Outros planetas do Sistema solar têm excentricidade semelhantes;
- Medidas da excentricidade de planetas extrasolares: 90% dos planetas tem uma excentricidade maior;
- Consequência: mesmo que a distância média desses planetas esteja dentro da zona habitável, eles passariam longos períodos de tempo fora dessa zona.





## Eixo de Rotação

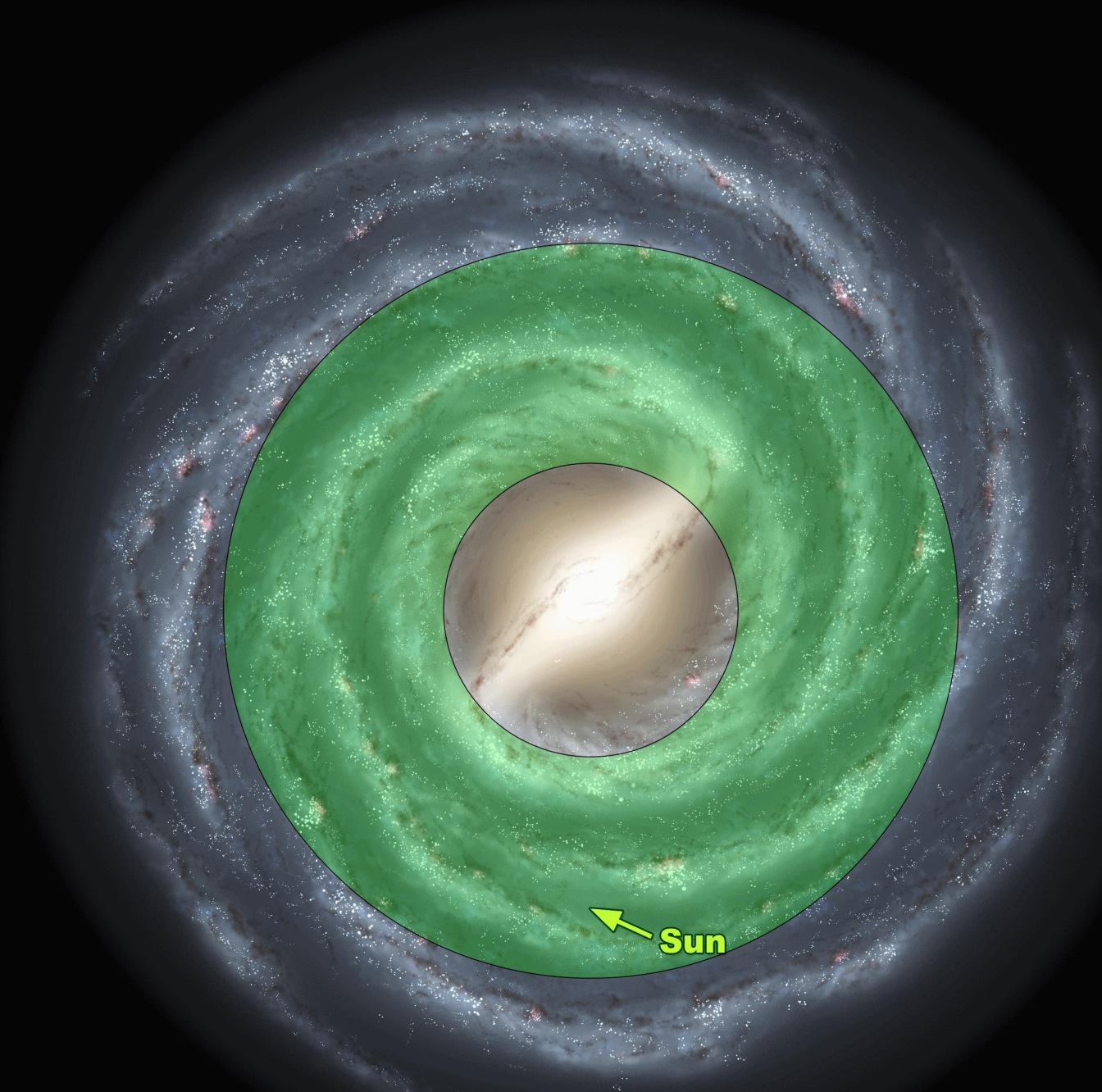
- O movimento de um planeta em torno de seu eixo também é um critério de habitabilidade;
- Acredita-se que um planeta necessita de estações moderadas;
- Sem inclinação do eixo de rotação, não haverá estações;
- Nesse caso, o planeta será mais frio: o planeta será dominado por sistemas polares (ventos frios);
- Se o eixo de rotação está muito inclinado, estações serão extremas (invernos congelantes e verões de calor extremo).



## Duração do Dia

- O ciclo dia-noite precisa ser curto;
- Se um dia dura anos, a diferença de temperatura entre a noite e o dia serão pronunciadas e problemas semelhantes aos de extrema excentricidade orbital surgirão.
- A velocidade de rotação também precisa ser rápida o suficiente para que um dínamo magnético tenha início no núcleo de ferro, criando um campo magnético.





## Zona de Habitabilidade Galáctica

- Planetas não estão em aglomerados globulares onde imensa densidade estelar são nocivas à vida (grandes quantidades de radiação, supernovas frequentes e perturbações gravitacionais);
- Não estão próximos a fontes de raios gama;
- Não estão próximos do centro da galáxia, região de alta densidade estelar;
- Também não estão em regiões de pouca densidade estelar nas partes externas da Galáxia: metalicidade das estrelas que se formam e a frequência de formação de estrelas são muito baixas em regiões externas da galáxia.





Aglomerado Globular  $\omega$  Centauri



Aglomerado Globular  $\omega$  Centauri







Centro Galáctico



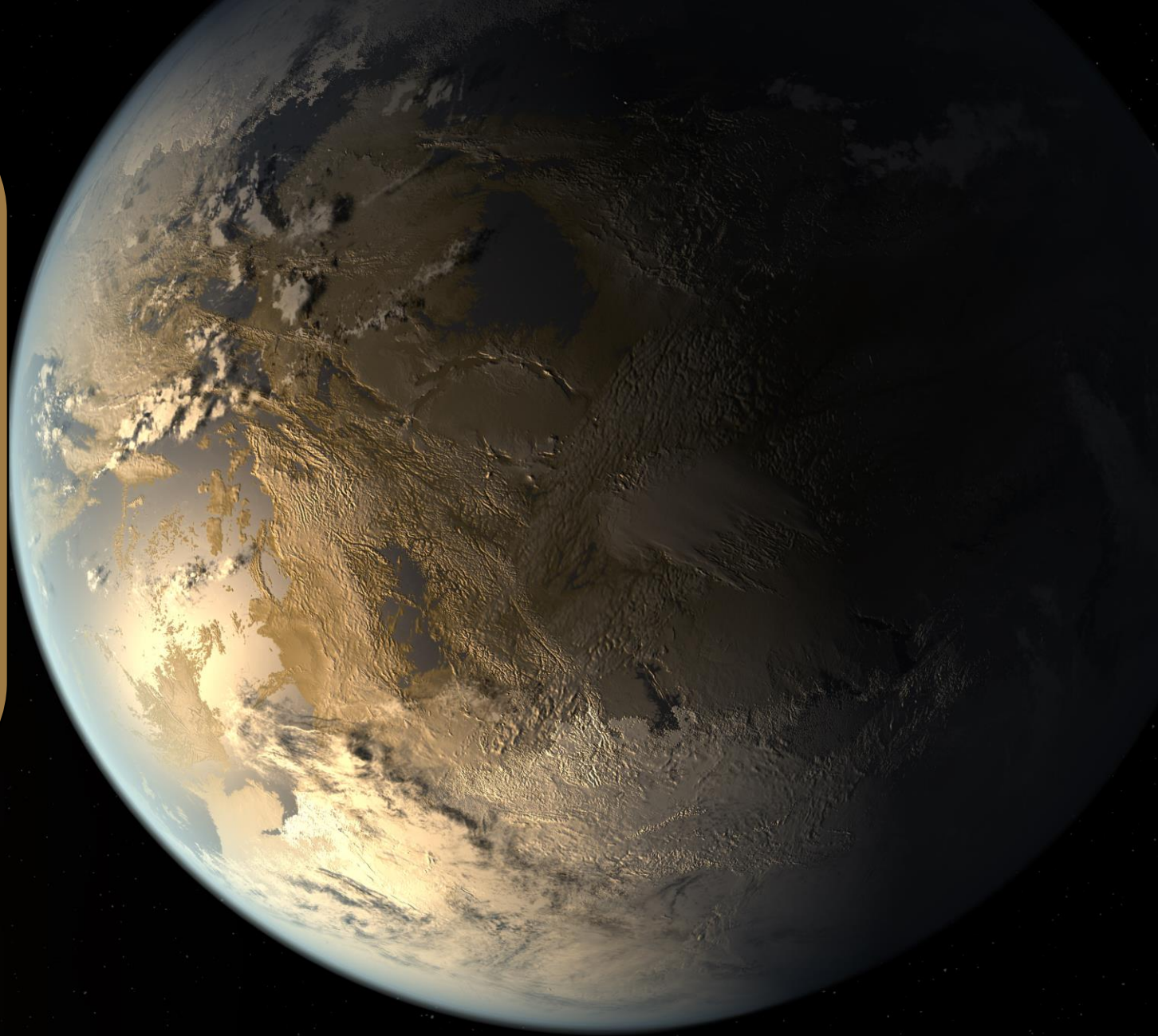


**Centro Galáctico**

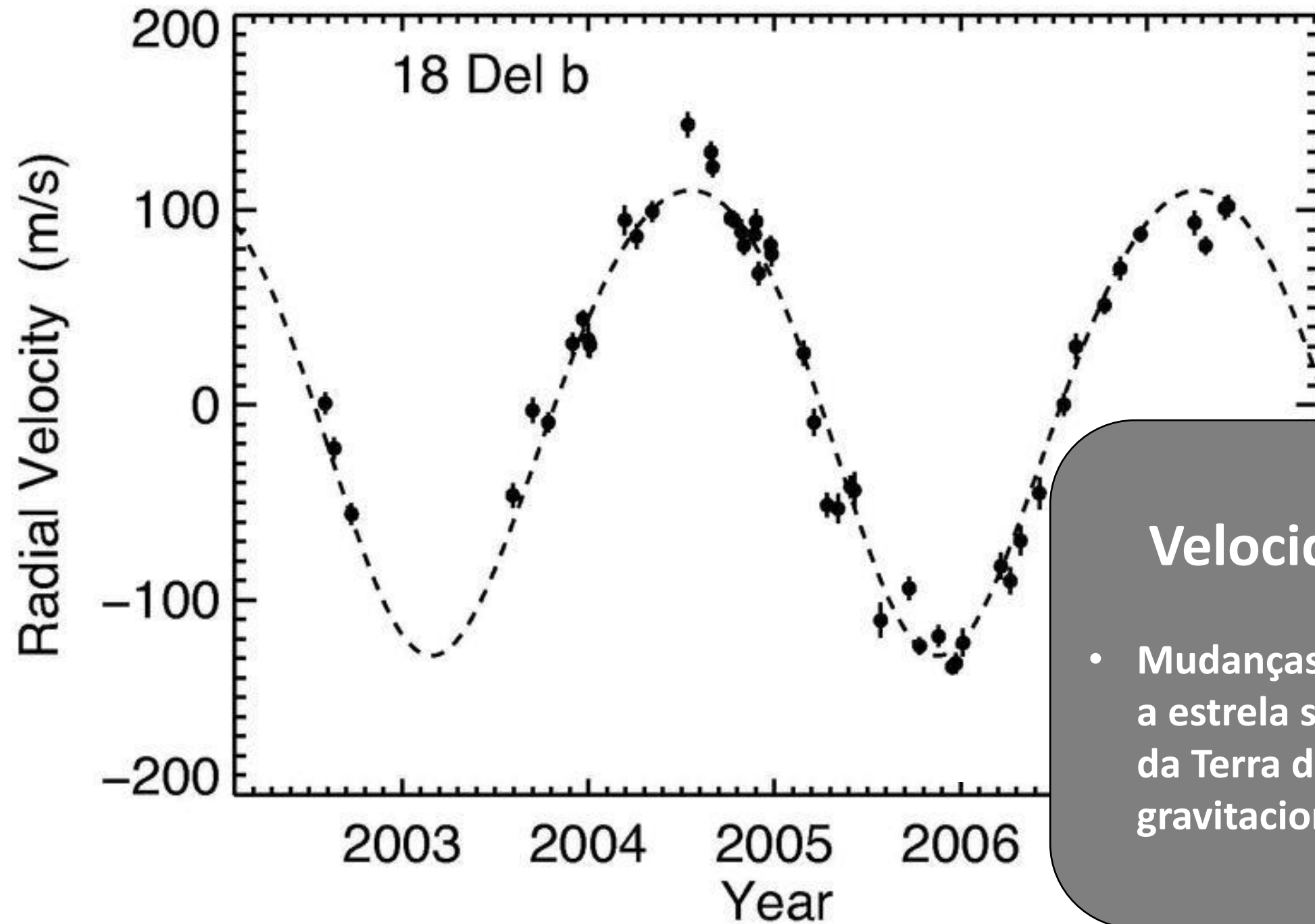


# Planetas Extrassolares

- Detectamos estrelas adequadas a terem planetas habitáveis, mas já foram detectados planetas fora do Sistema solar, ou seja, em outras estrelas?
- 5379 planetas extrassolares foram detectados até 15 de Maio de 2023!
- <http://exoplanet.eu/>



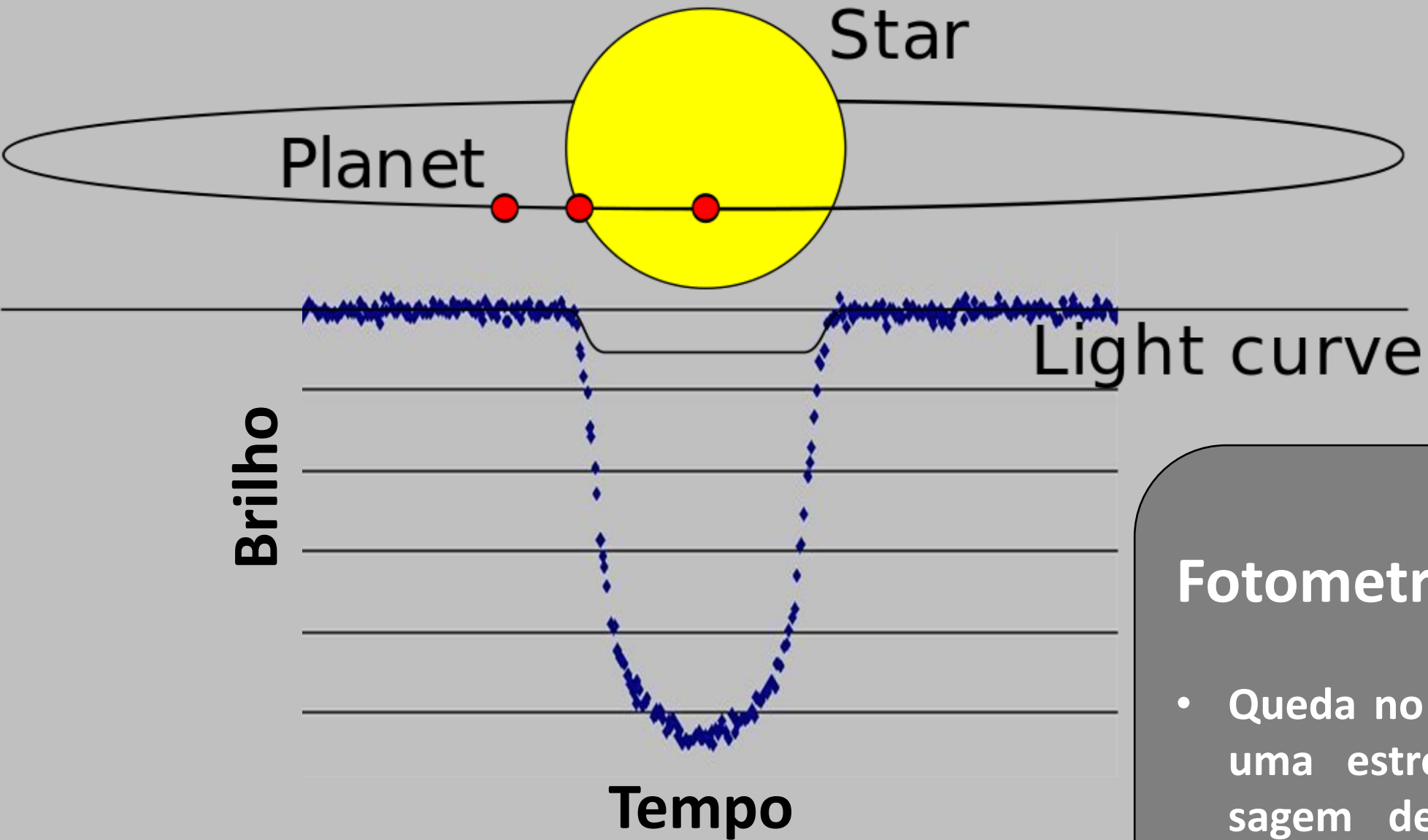




## Velocidade Radial:

- Mudanças na velocidade que a estrela se aproxima e afasta da Terra devido a atração gravitacional de um planeta.

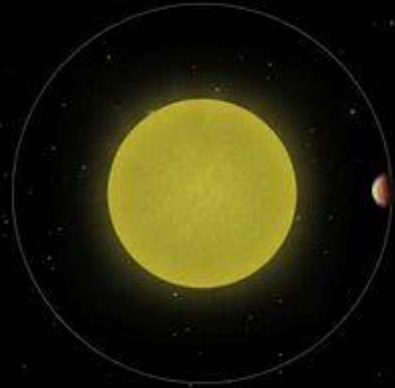




## Fotometria de trânsito:

- Queda no brilho aparente de uma estrela devido a passagem de um planeta em frente dela (trânsito).





## **Variação no tempo de trânsito:**

- **Mudanças no tempo que um planeta leva para passar em frente a sua estrela devido a atração gravitacional de um segundo planeta.**



Planet b

Planet c

× Star

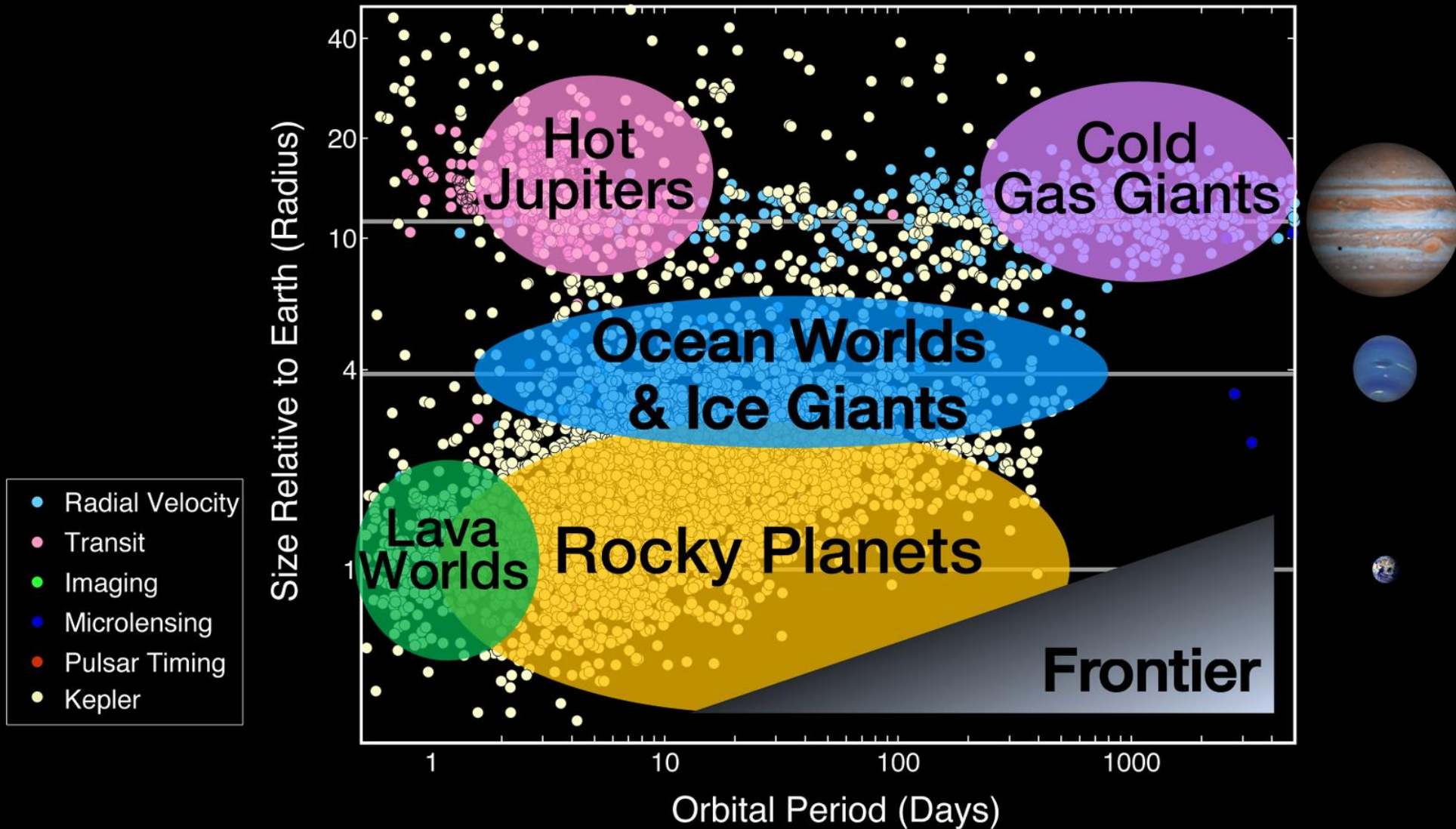
Planet d

## Imageamento

- Detecção de radiação infravermelha emitida por um planeta (somente planetas quentes).



# Exoplanet Populations





## O Projeto SETI

- **1959:** Cocconi & Morrison publicaram "Searching for extraterrestrial Communication" (Nature);
- **1960:** Drake começou uma busca de sinais em Ceti e Eridani com o radiotelescópio de 25 m de Green Bank.
- **1961:** 10 especialistas de diversas áreas (Drake, Sagan, Calvin, entre outros) se reúnem. Drake formula sua equação.

$$N = f_p f_v f_i f_c \dot{N} T_t,$$



## A equação de Drake

$$N = f_p f_v f_i f_c \dot{N} T_t,$$

- $f_p$ : fração provável de estrelas que tem planetas;
- $f_v$ : fração provável de planetas que abrigam vida;
- $f_i$ : fração provável de planetas que abrigam vida e desenvolveram formas de vida inteligente;
- $f_c$ : é a fração provável de planetas que abrigam vida inteligente e que desenvolveram civilizações tecnológicas com comunicação eletromagnética;
- $\dot{N}$ : é a taxa de formação de estrelas na Galáxia;
- $T_t$ : tempo provável de duração de uma civilização tecnológica.

# A equação de Drake

	$R_*$	$f_p$	$f_v$	$n_T$	$f_i$	$f_c$	$T_t$	$N$
hipótese muito otimista	20	0,6	2	1	1	1	$10^9$	$\sim 10^9$
hipótese pessimista	2	0,1	0,1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^2$	$\sim 10^{-12}$
Valores de Drake	10	0,5	2	1	0,01	0,01	10000	100

- 1. Hipótese muito otimista:** 1 bilhão de civilizações na nossa Galáxia podem e querem se comunicar!
- 2. Hipótese pessimista:**  $N = 10^{-12}$ . Criaturas como os Terráqueos são muito raras, apenas 1 caso em 1 trilião de galáxias. (Hipótese da Terra Rara). No nosso universo observável há  $10^{11}$  galáxias : estamos sozinhos!