

1. 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 50 bilhões a 1 Trilhão 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?!

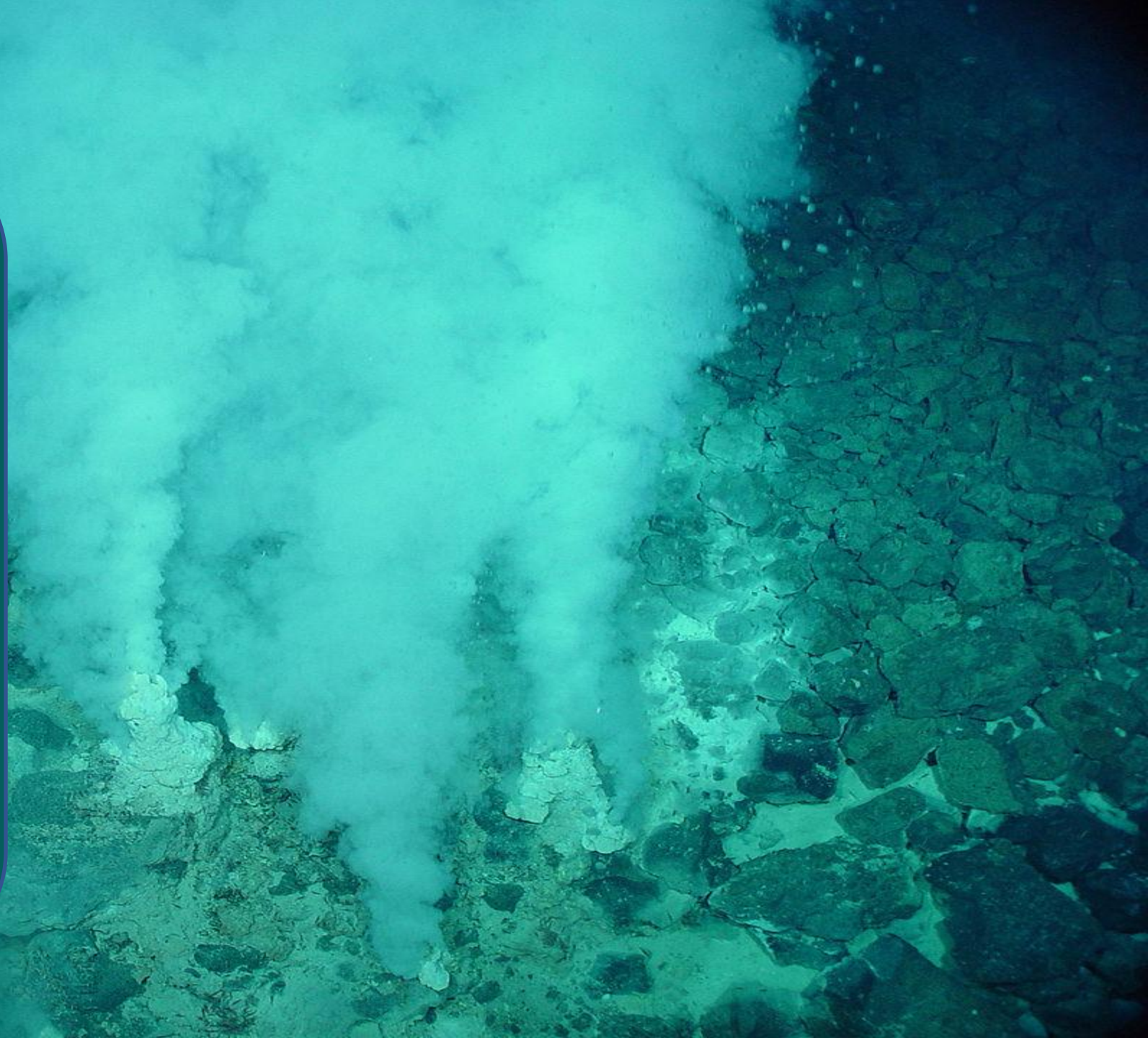
A detailed 3D rendering of numerous bacteria, primarily rod-shaped, in various sizes and orientations. The bacteria are colored in shades of blue and cyan, with a textured, almost crystalline surface. They are set against a dark blue background. The word "Bactérias!" is centered in the image in a white, sans-serif font.


Bactérias!



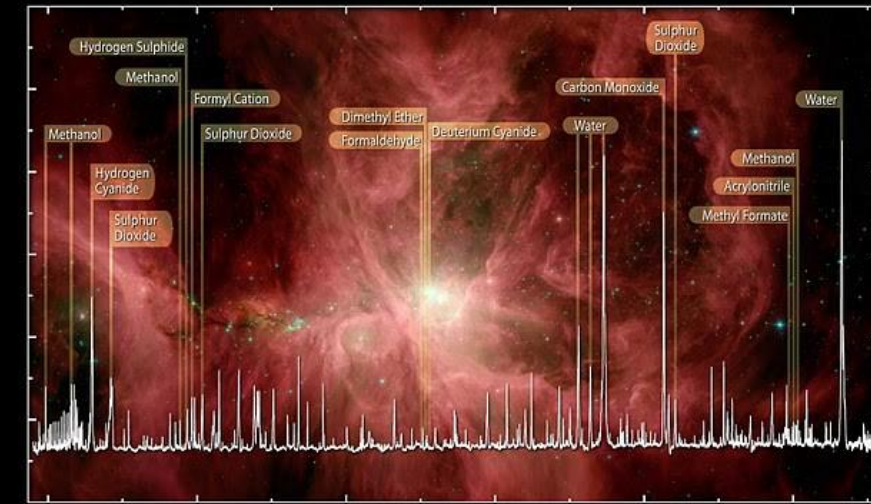
Como Surgiu a vida na Terra?

- 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_2O (água) na nebulosa de Órion (berçário de estrelas);
- Em algumas nuvens interestelares foram identificadas moléculas mais complexas como C_2H_5OH (álcool etílico);
- Além disso, radicais e moléculas orgânicas e água são detectadas nos cometas, que seriam os "fecundadores" espaciais.

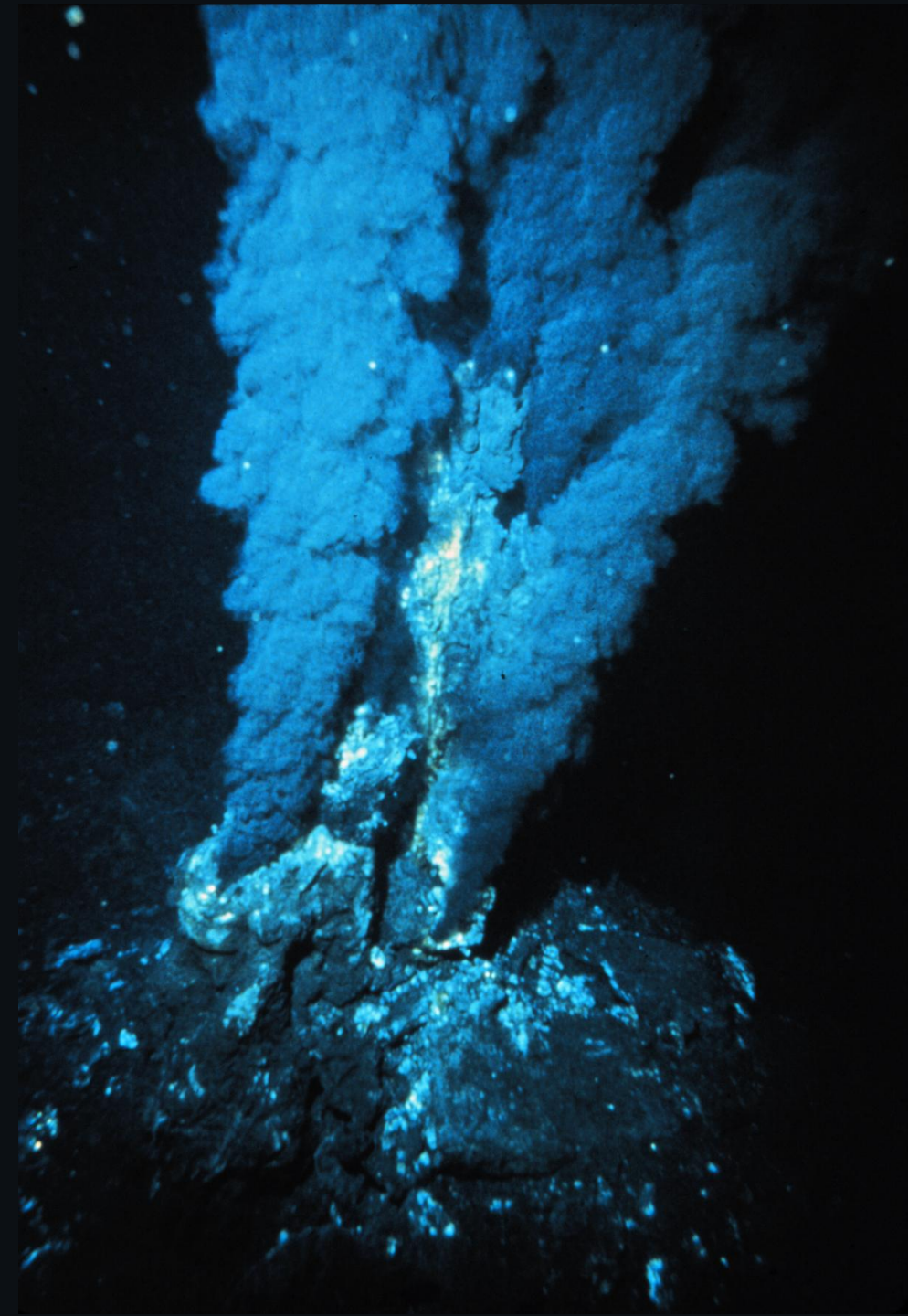


HIFI Spectrum of Water and Organics in the Orion Nebula

© 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: $\text{pH} > 11$;
- Acidez: $\text{pH} = 0.06$ a 1.0 ;
- Radiação ionizante: 30.000Gy ;
- Radiação UV : 5.000 J/m^2 ;
- Pressão: 1.100 bar ;
- Salinidade: $a_w \approx 0.6$;
- Aridez: $\approx 60\%$.



Deinococcus radiodurans

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

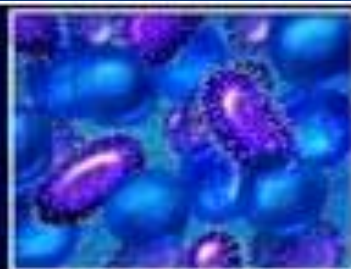


Thermococcus gammatolerans

- 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.

D9143-ASWCYST-PU-.tif
ASWCyst Stat
PT 30sec
Print Mag: 15300x @ 51 mm
11:21 12/23/05
Microscopist: Jeril

50
HV
Dir
UMR



Sea Vents


**Yellowstone
Hotsprings**

**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.

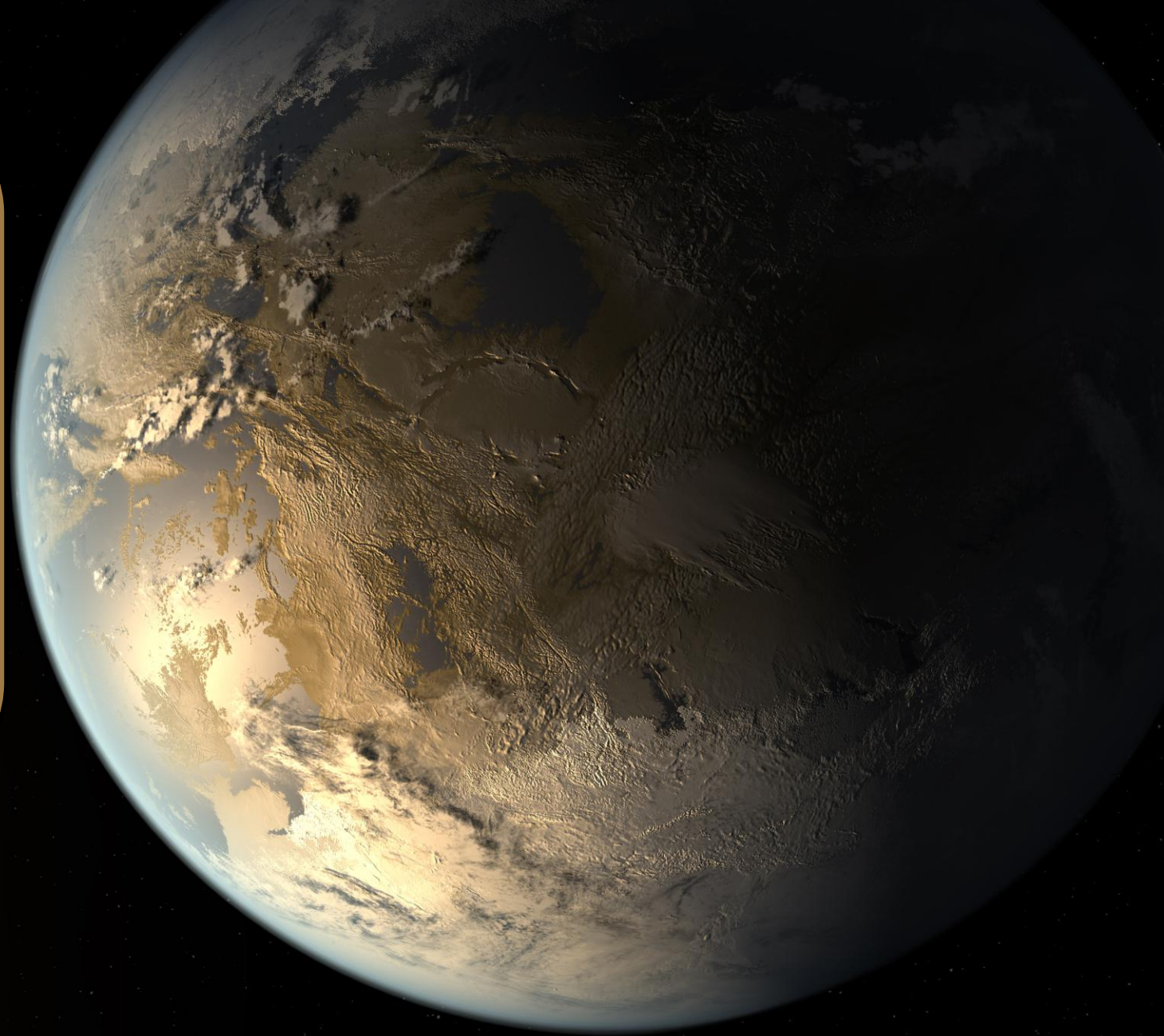


Vida sem Carbono?

- 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.

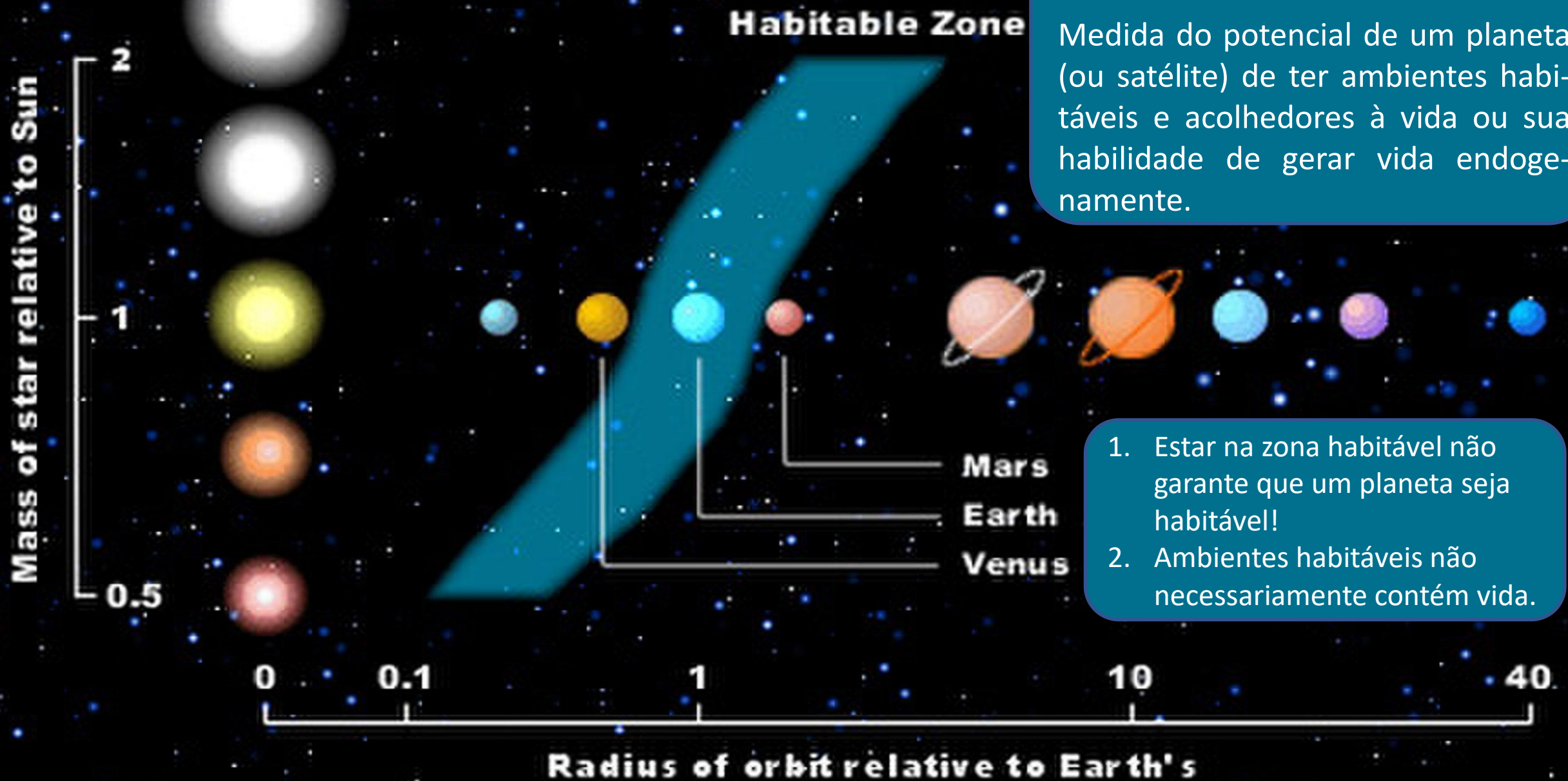
O que torna um planeta habitável?

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.

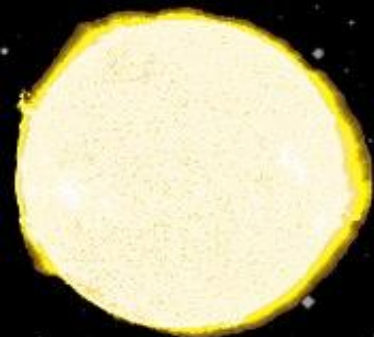
Limite exterior da zona habitável:

1. Mesmo o mais potente efeito estufa não consegue manter o planeta acima da zona de congelamento;
2. CO_2 condensa.

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.





Temperature (K)

7,000

6,000

5,000

4,000

3,000



200%

175%

150%

125%

100%

75%

50%

25%

Optimistic Habitable Zone

Conservative Habitable Zone

Venus

Earth

Mars

438b
296e

560b

Gliese 667Cc

442b
1410b

62f
1229b
186f

TRAPPIST-1d

1e

Prox Cen b

1f

1g

Starlight on planet relative to sunlight on Earth

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 $3,700\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $6,700\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Entre 5% a 10% das estrelas da Via láctea têm temperaturas nessas faixas.

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

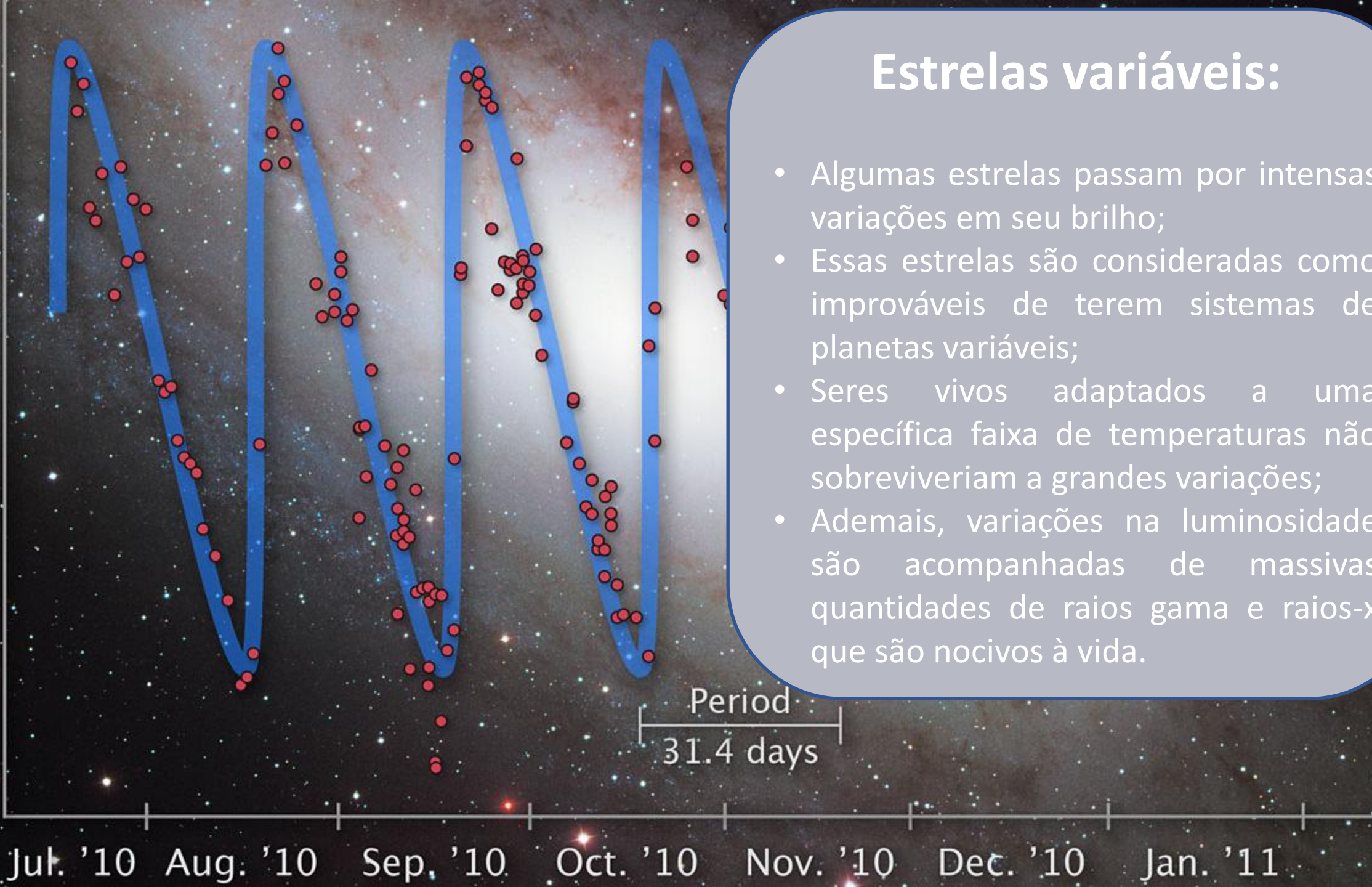
A

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.



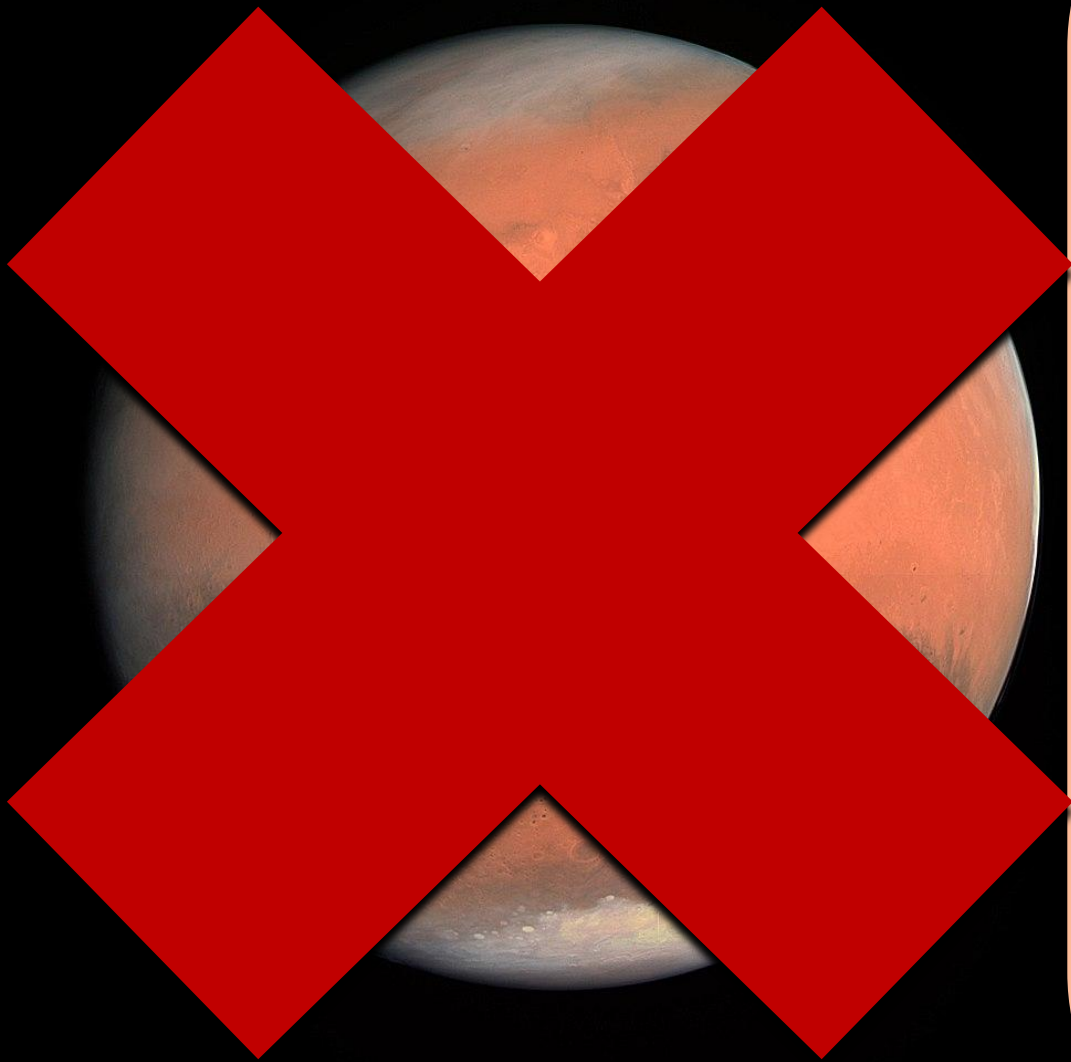
Habitabilidade de Planetas de Baixa Massa

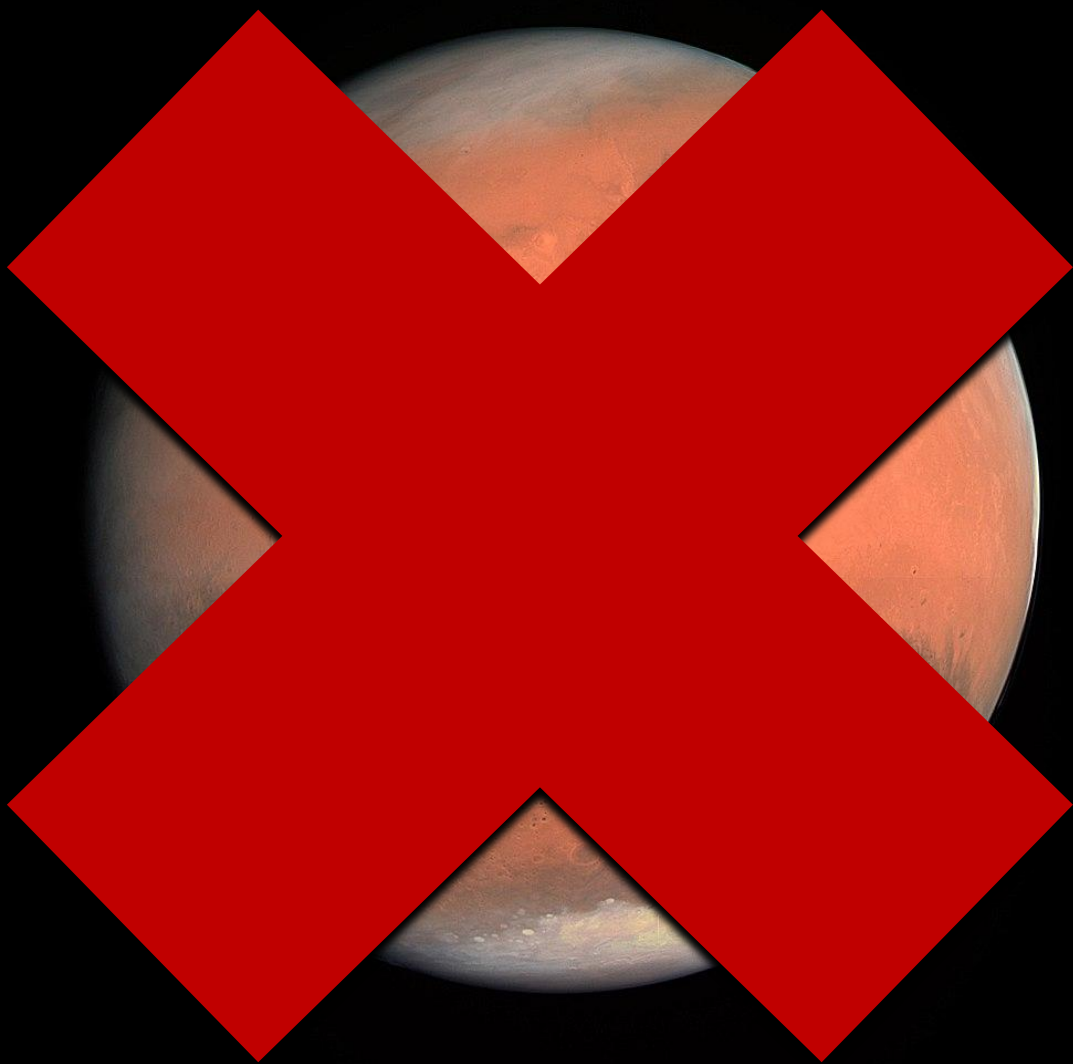
Planetas de baixa massa são maus candidatos para abrigar vida por dois motivos:

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 razões 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

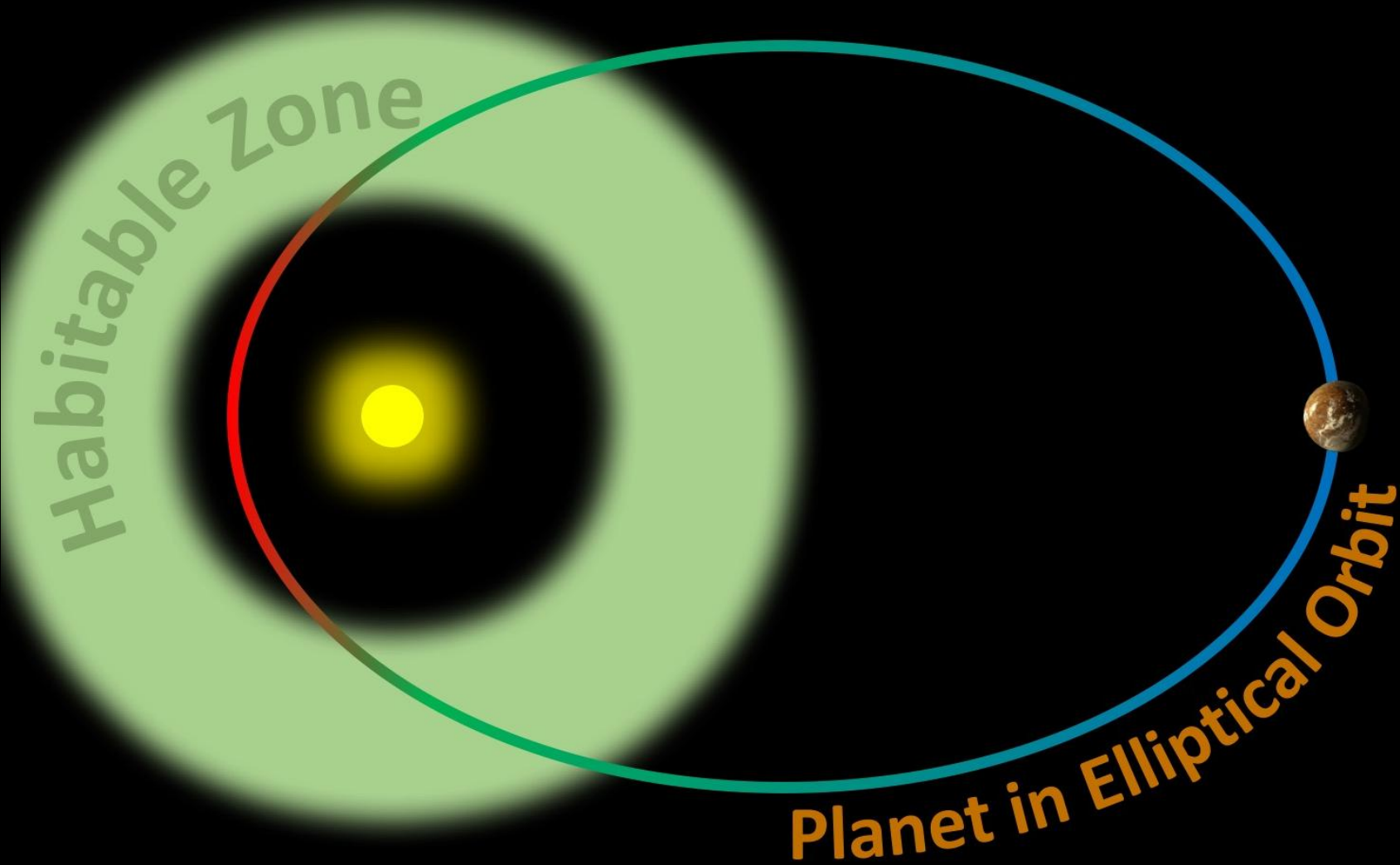
- Planetas sem atmosferas espessas não possuem a matéria necessária para a bioquímica primitiva, têm pouco isolamento térmico e pobre transferência de calor ao longo de sua superfície;
- Por exemplo, Marte é mais frio que a Terra seria na mesma distância ao Sol;
- Além disso, uma tênue atmosfera oferece 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.





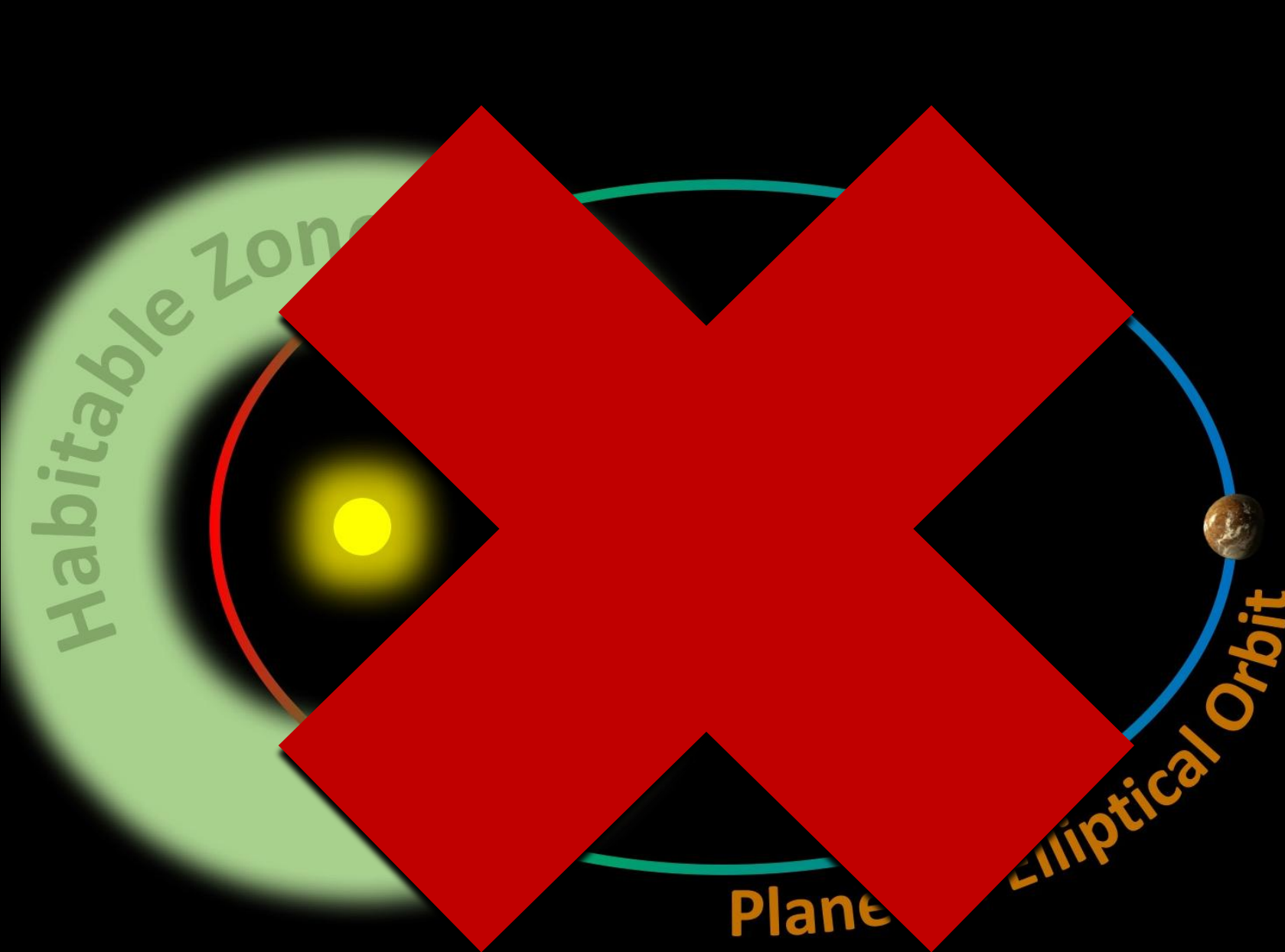
Habitabilidade de Planetas de Baixa Massa

- 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 (CO_2);
- Sem tectônica de placas, não há reciclagem de minerais e nem células convectivas como as que geram o campo magnético da Terra.



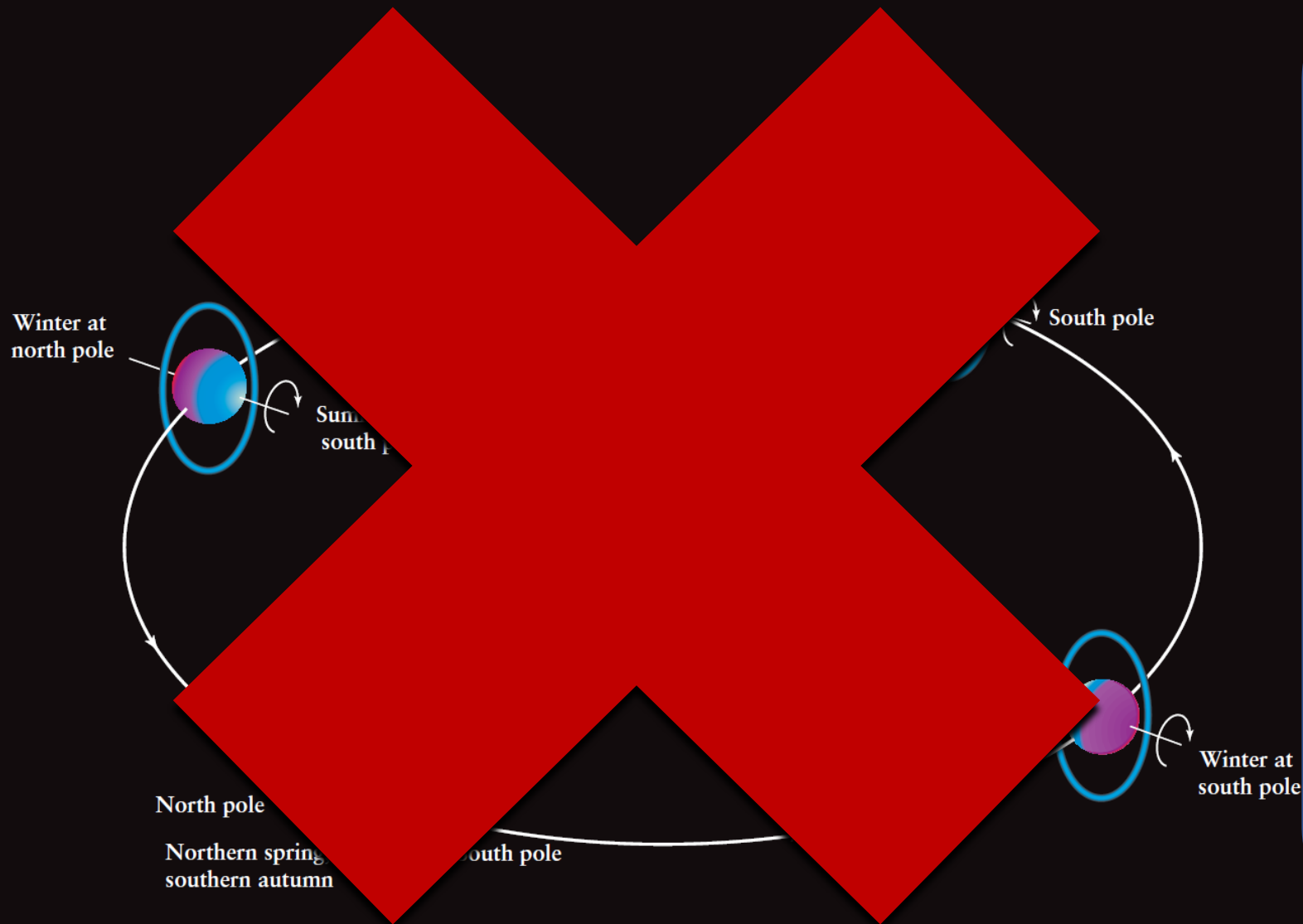
Órbitas e Habitabilidade

- 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 ≈ 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.



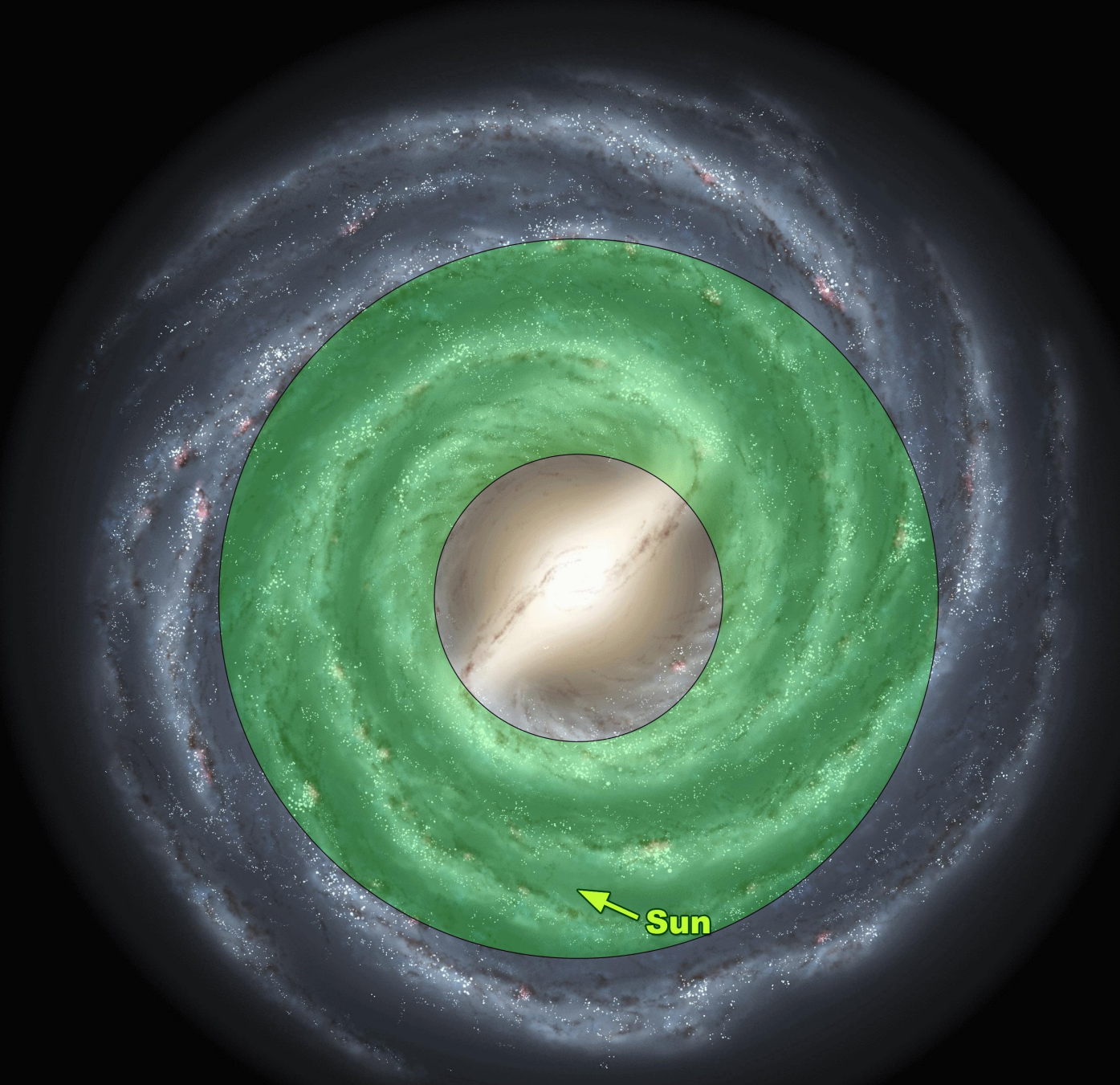
Eixo de Rotação

- 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.



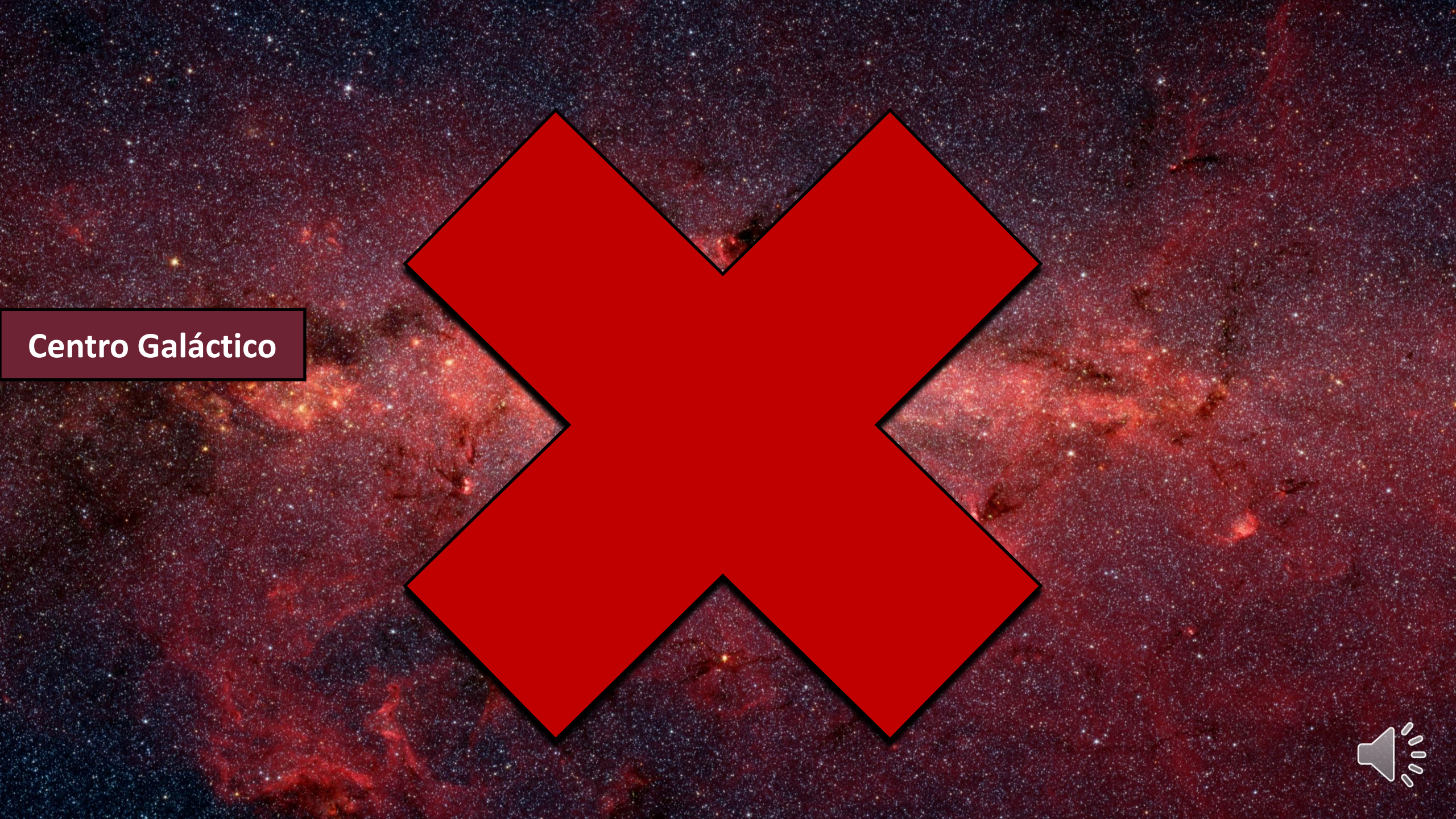
Aglomerado Globular ω Centauri

A dense field of stars in a globular cluster, with a large red X overlaid in the center. The stars are of various colors, including white, yellow, orange, and blue, and are densely packed together. The background is dark, making the stars stand out.

Aglomerado Globular ω Centauri



Centro Galáctico

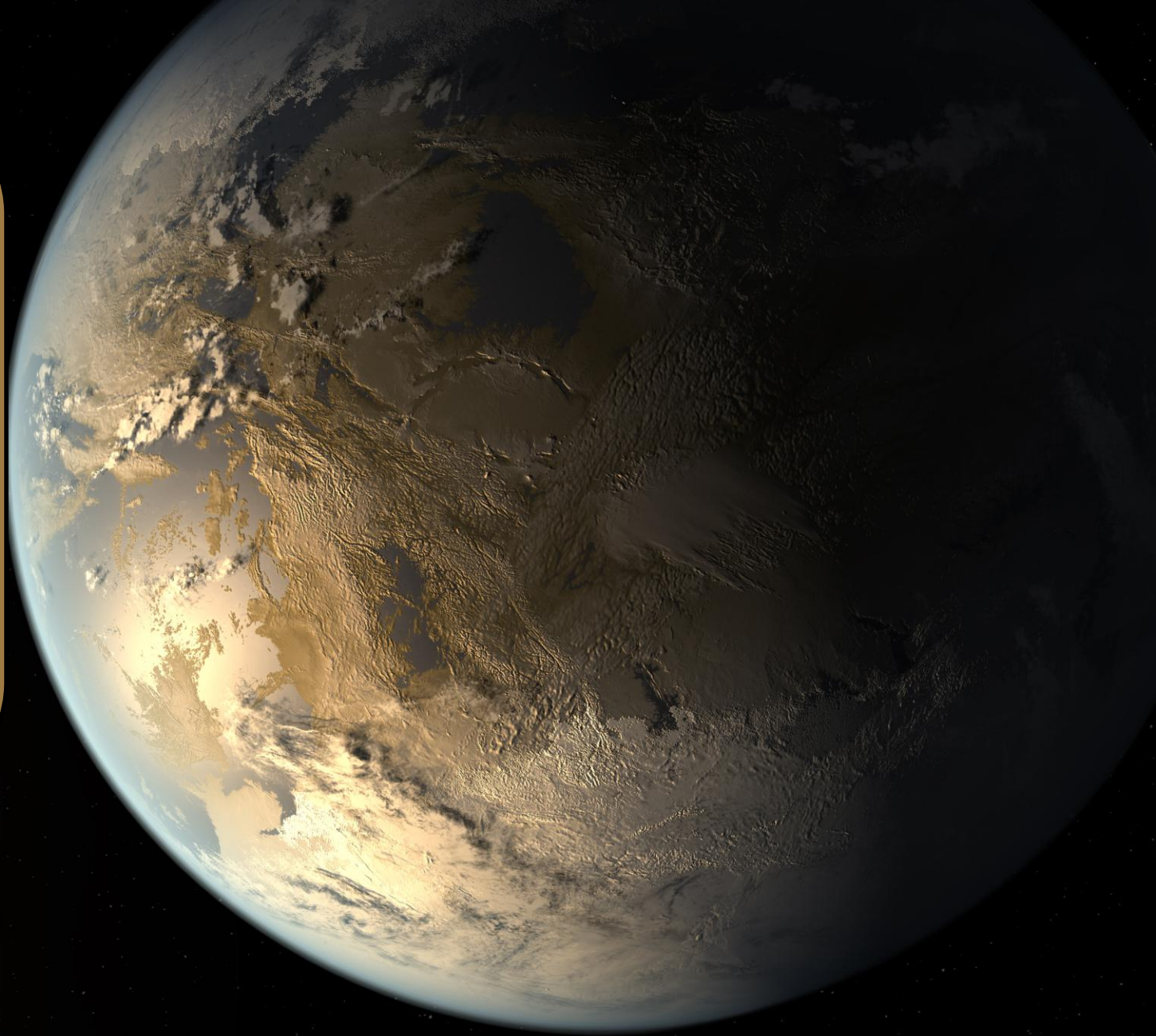


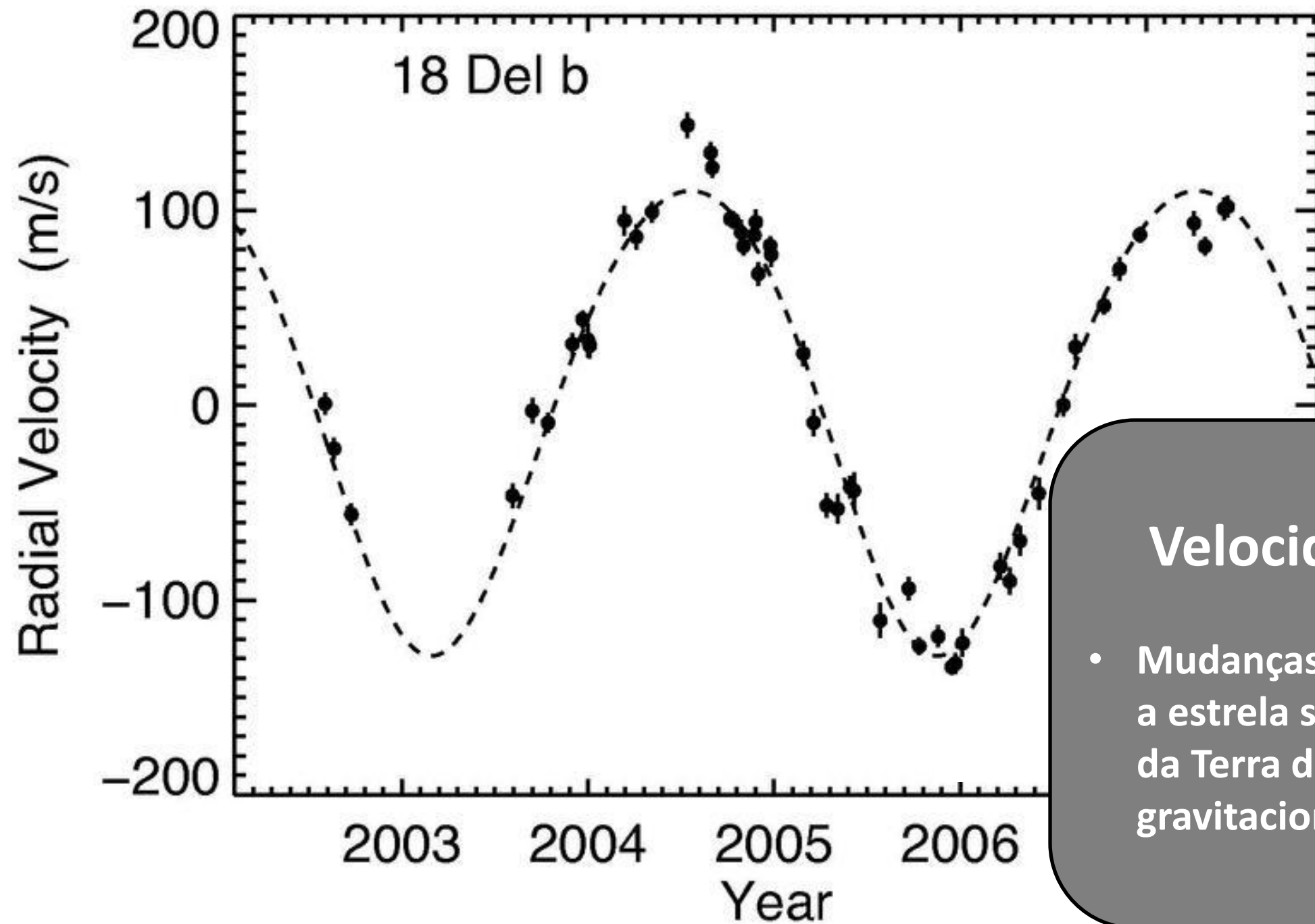
Centro Galáctico



Planetas Extrassolares

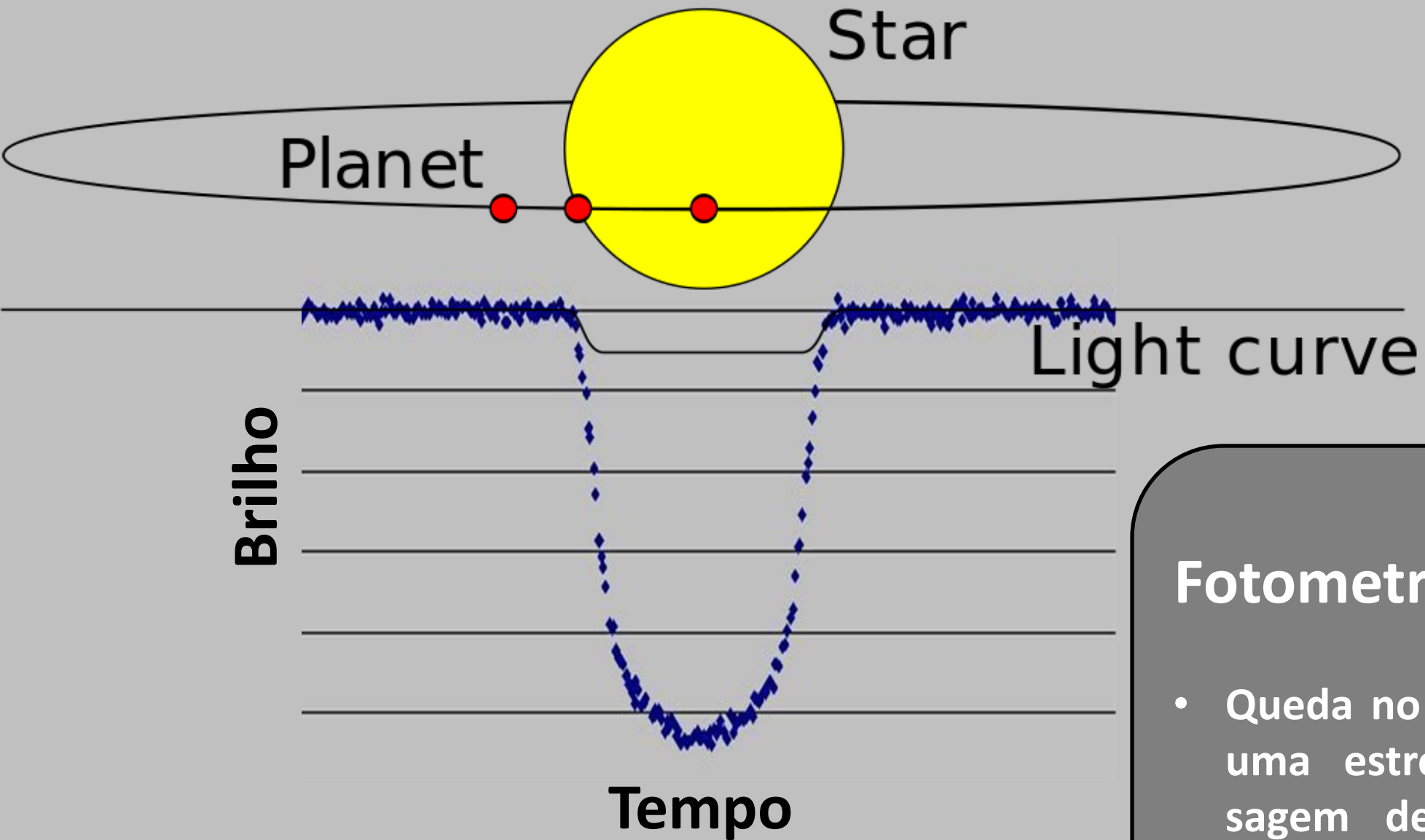
- Detectamos estrelas adequadas a terem planetas habitáveis, mas já foram detectados planetas fora do Sistema solar, ou seja, em outras estrelas?
- Mais de 7430 planetas extrassolares foram detectados até 25 de Março de 2025!
- <http://exoplanet.eu/>





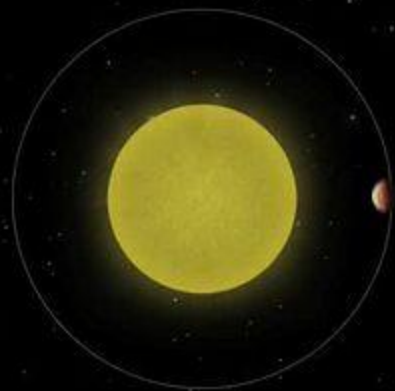
Velocidade Radial:

- 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

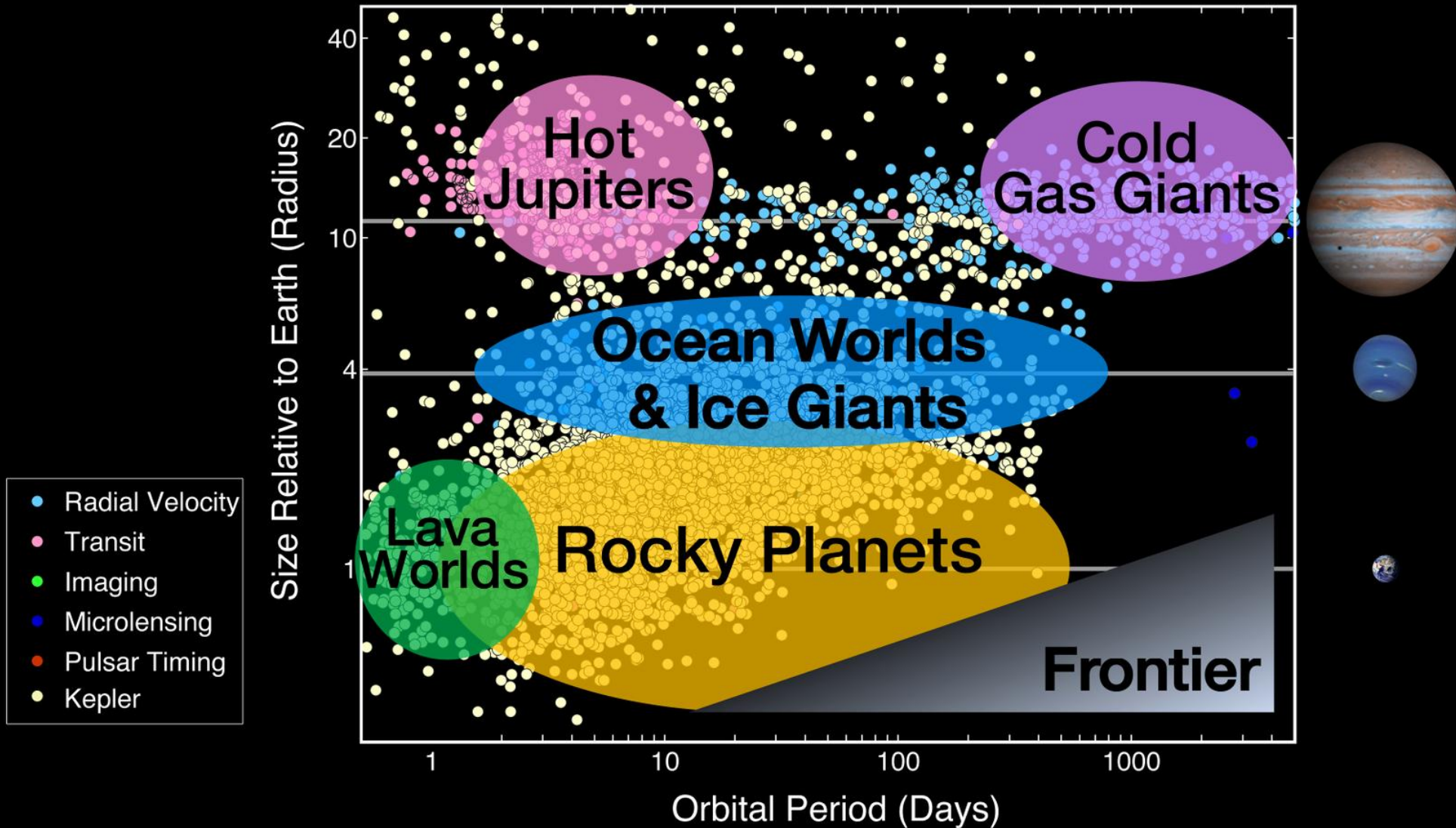
× Star

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;
- 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!