

ASTROBIOLOGIA

A vida no contexto cósmico



Centro de Extensão Universitária - SP
C. A. Wuensche
19 de junho de 2006





Sumário



- ✦ Astrobiologia: do que se trata?
- ✦ De que hipóteses e fatos partimos?
- ✦ Considerações cosmológicas, galácticas e estelares
- ✦ Habitabilidade planetária
- ✦ Formação e evolução da Terra e da vida na Terra
- ✦ Vida inteligente x vida não-inteligente?
- ✦ Conclusões e perspectivas.



Por onde começar?

- ✦ A vida é um “imperativo cósmico” ou simplesmente um evento ao acaso?
- ✦ A vida é formada e se desenvolve a partir de processos físico-químicos locais?
- ✦ Existem condições realistas, no Sistema Solar e fora dele, para a origem e evolução da vida da forma como a conhecemos?



De onde vem esse interesse recente?

- **Geologia/Biologia**
 - Micróbios em ambientes extremos
 - Evolução na determinação do código genético e registros geológicos
- **Astronomia recente**
 - 185 planetas extrasolares descobertos
 - Busca de “outras Terras” (p.ex. missões de exploração tipo Kepler e Darwin)
- **Ciências planetárias**
 - Água em Marte, oceanos em Europa, compostos orgânicos em Titã

Astrobiologia



Como a vida evoluiu na Terra?

Como ela continua?

Há vida em outros locais?

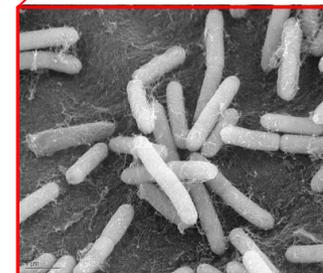
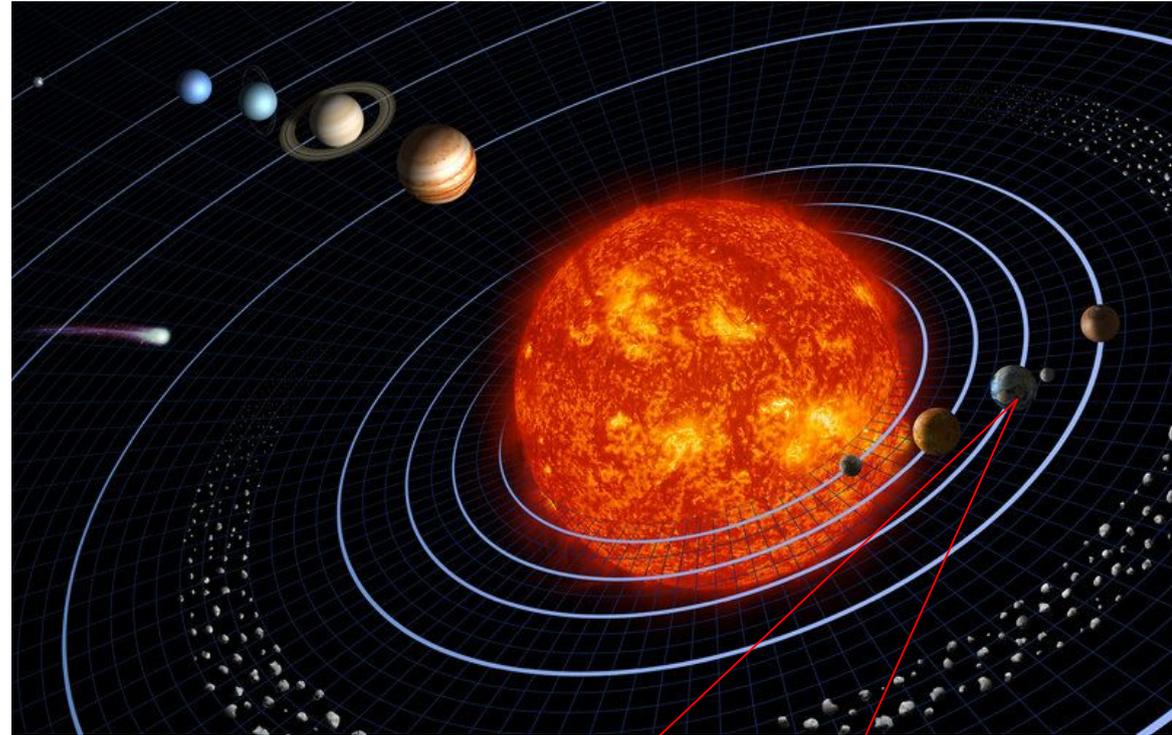
Onde e como procurá-la?



Astrobiologia

(Exobiologia ou Bioastronomia)

- Astronomia
- Astrofísica
- Biologia Molecular
- Bioquímica
- Ciências Planetárias
- Ecologia
- Engenharia
- Evolução
- Física
- Geologia
- Microbiologia
- Química



**Uma ciência naturalmente
inter(multi)disciplinar**

Como podemos definir vida?

- Conceito bastante subjetivo, mas podemos listar algumas características comuns (Schneider, astro-ph/9604131, 1996; Szostak et al., Nature, 2001; Bains, Astrobiology, 2005; Lunine 2005)
 - ❑ Interação complexa e diversificada com o meio ambiente
 - ❑ Sistema fora do equilíbrio termodinâmico
 - ❑ Memória + mecanismo de leitura
 - ❑ Evolução
 - ❑ Auto-replicação

Vida é um sistema químico auto-sustentado capaz, no sentido Darwiniano, de evoluir (Joyce 1994).

Busca prática, hipóteses restritivas...

- ⊕ Que tipo de sistemas complexos?
 - ⊗ Cristais líquidos, plasmas...
- ⊕ Hipótese conservadora: sistemas químicos.
 - ⊗ C, Si?
- ⊕ Presença de líquido?
 - ⊗ H₂O: excelente solvente e abundante na natureza...
- ⊕ Existência de uma interface sólido/líquido?
 - ⊗ favorecimento da interação molecular...



Ambientes biofílicos?

Um universo hospitaleiro à vida – que podemos chamar de universo biofílico – deve ser especial, de diversas maneiras. Os pré-requisitos para qualquer tipo de vida – estrelas com vida longa, uma tabela periódica com elementos que permitam uma química complexa, e assim por diante – são sensíveis às leis físicas e não poderiam ter surgido num Universo com uma receita que fosse ligeiramente diferente da que conhecemos.

Martin Rees

Our Cosmic Habitat



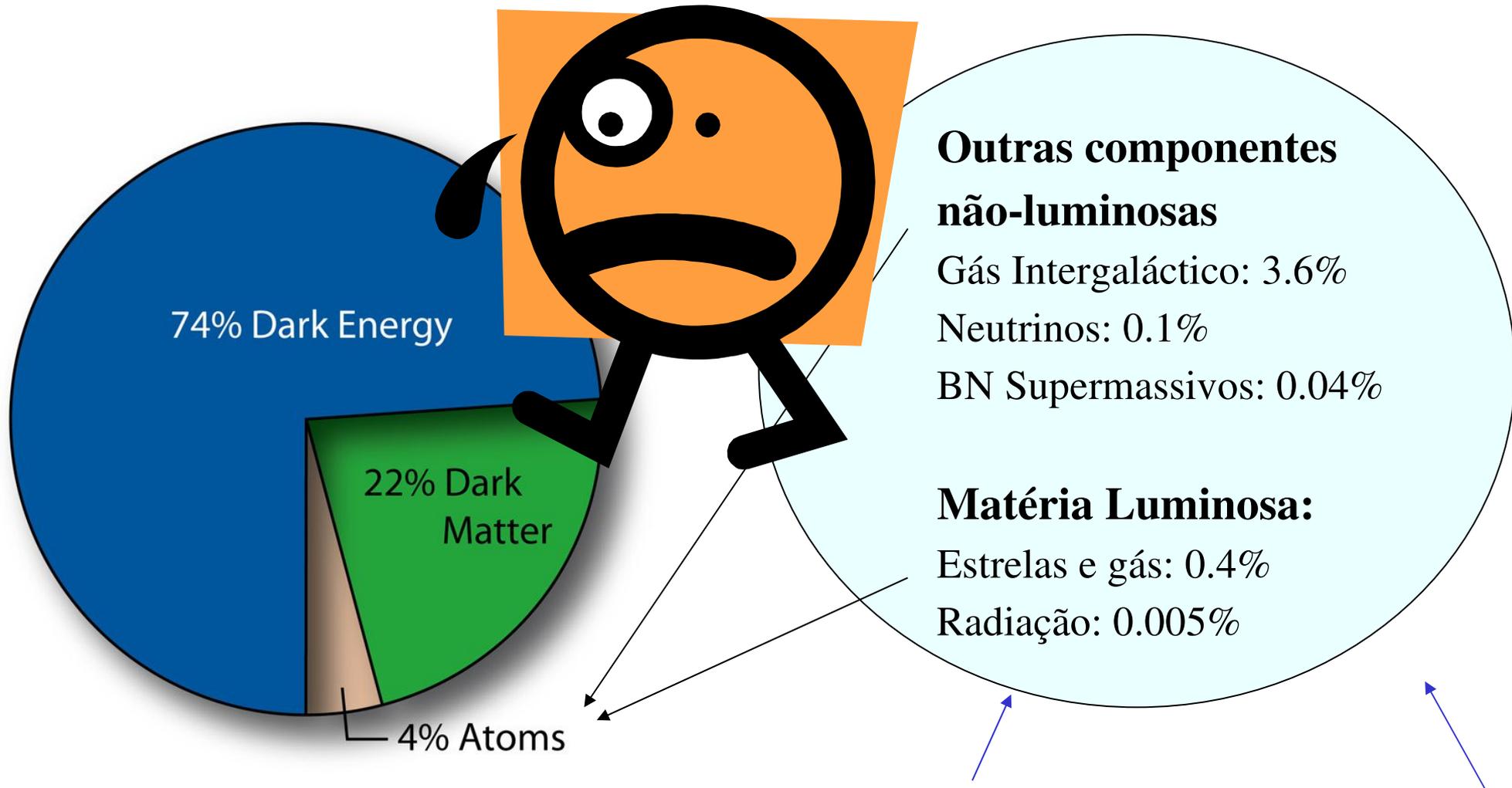
Complexidade e Cosmologia

Existem três grandes fronteiras na Ciência: o **muito grande**, o **muito pequeno** e o **muito complexo**. A Cosmologia envolve as três.

Martin Rees

Our Cosmic Habitat

Uma perspectiva cosmológica para a busca de vida no Universo



Fração conhecida = 4% do total

Fração desconhecida = 96%

Constituintes da vida vêm destes componentes



Considerações cosmológicas...

⊕ $t_0 \geq t_{\text{Star}} \sim t_{\text{bio}}$

- ⊕ A taxa de expansão do Universo é extremamente importante!
- ⊕ Os valores das constantes físicas não podem variar quase nada se quisermos criar sistemas bioquímicos complexos.

The Astronomer's Periodic Table

(Ben McCall)



□ □ □ □
C N O Ne

°
Mg

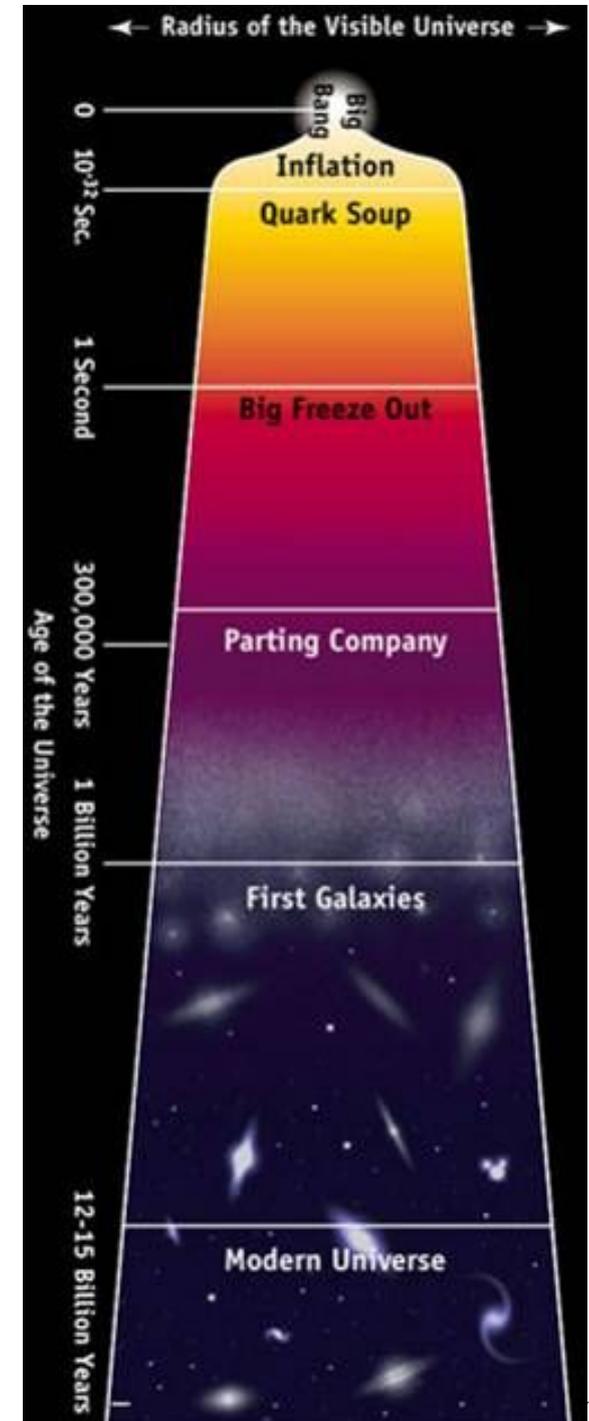
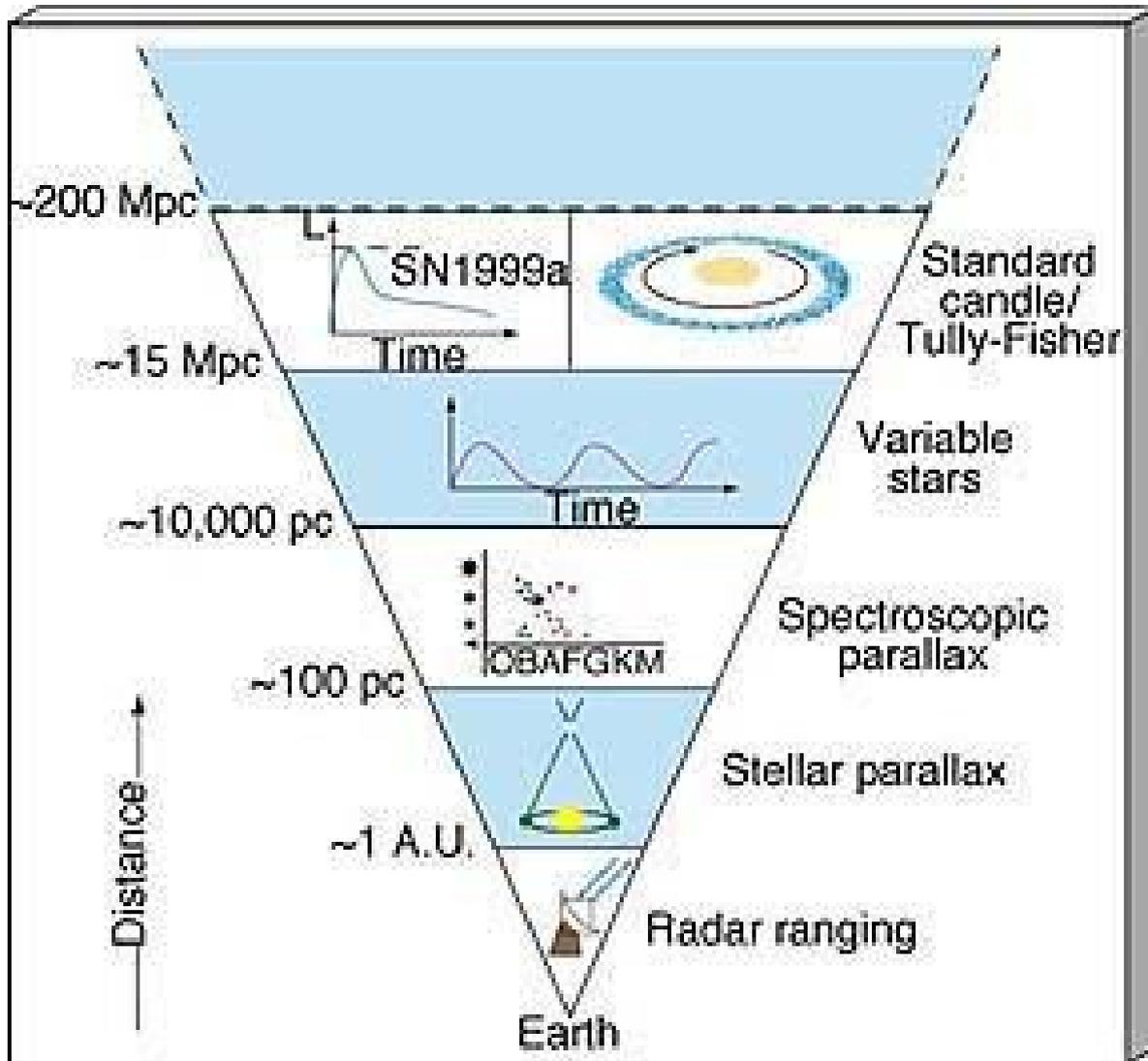
· · ·
Si S Ar

°
Fe

Courtesy Ben Mc Call



A "Dupla Hélice" Cosmológica – Espaço e Tempo





Ligando formação de galáxias a ambientes biofílicos

- ✦ Galáxias são tijolos naturais (“células”) que compõem o Universo.
- ✦ As estrelas são geradas em galáxias e são responsáveis pela evolução química.
- ✦ Galáxias possuem um nível ótimo de abundâncias químicas e campos de radiação necessários para o surgimento da vida.
- ✦ A evolução inicial das galáxias é caracterizada por surtos de formação estelar, em que poeira e moléculas são formadas, levando a uma química complexa.
- ✦ As primeiras estrelas massivas, hospedadas em protogaláxias, sintetizaram principalmente C, N e O. Consequentemente, a química orgânica está presente no Universo jovem (menos de 1 bilhão de anos).



Considerações Galácticas

- ⊕ Tempo de vida estelar típico
 - ⊞ $4,5 \times 10^9 \text{ anos} < t < 13,7 \times 10^9 \text{ anos}$
(entrada da na SP < t < exaustão do combustível nuclear)
- ⊕ Metalicidade: Fe \sim 1% da abundância H
- ⊕ Ausência de explosões de supernovas
- ⊕ Estimativa: $\leq 10\%$ das estrelas da Galáxia estão na “Zona Habitável”.

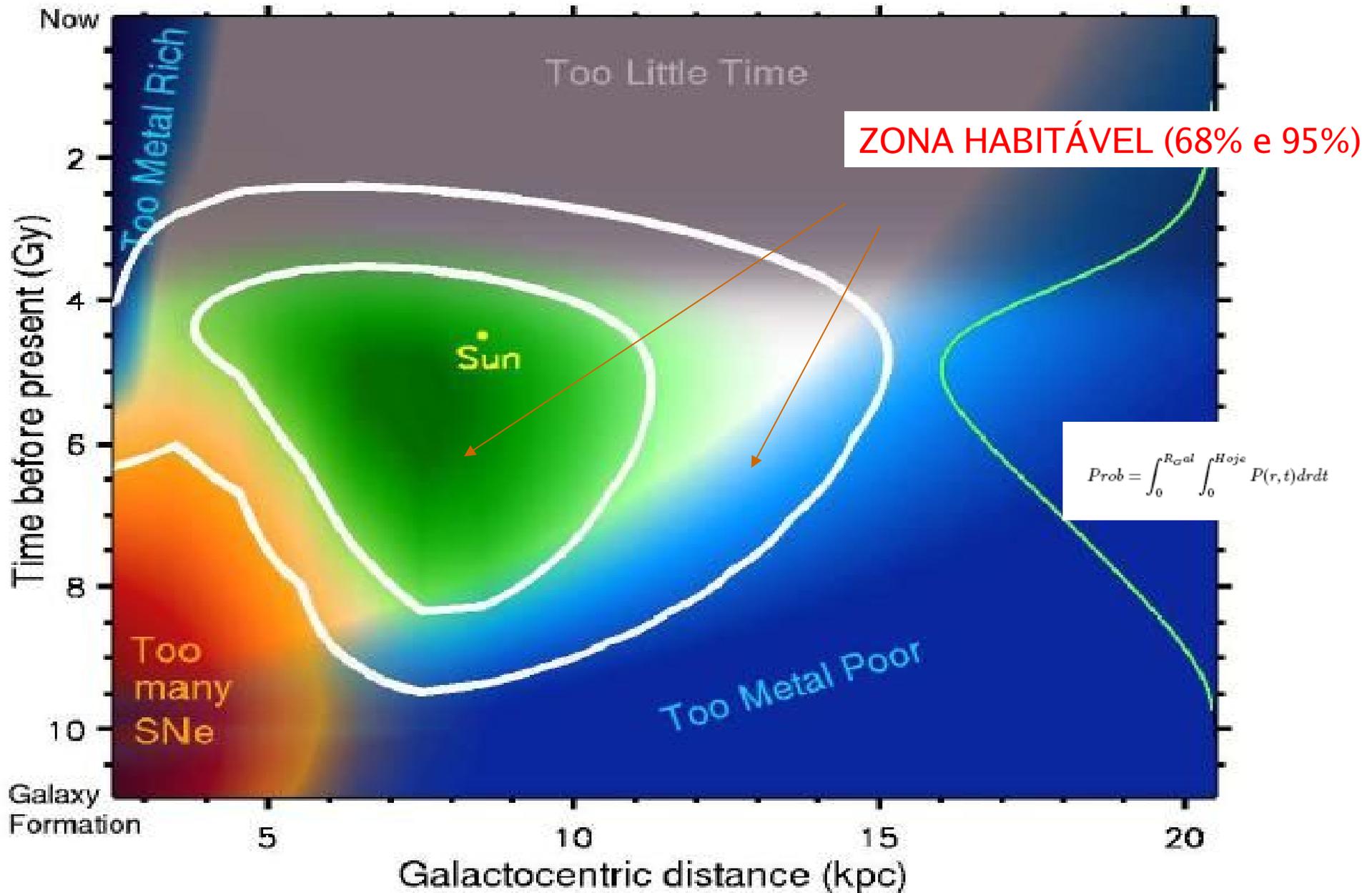
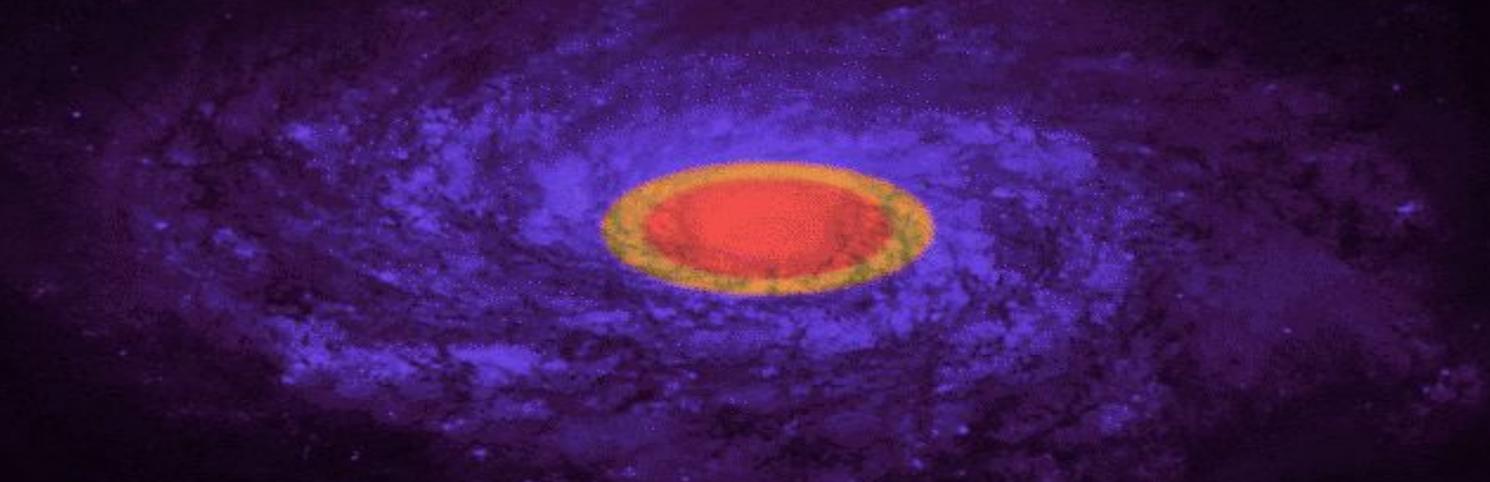


Fig. 3. The GHZ in the disk of the Milky Way based on the star formation rate, metallicity (blue), sufficient time for evolution (gray), and freedom from life-extinguishing supernova explosions (red). The white contours encompass 68% (inner) and 95% (outer) of the origins of stars with the highest potential to be harboring complex life today. The green line on the right is the age distribution of complex life and is obtained by integrating $P_{GHZ}(r, t)$ over r .

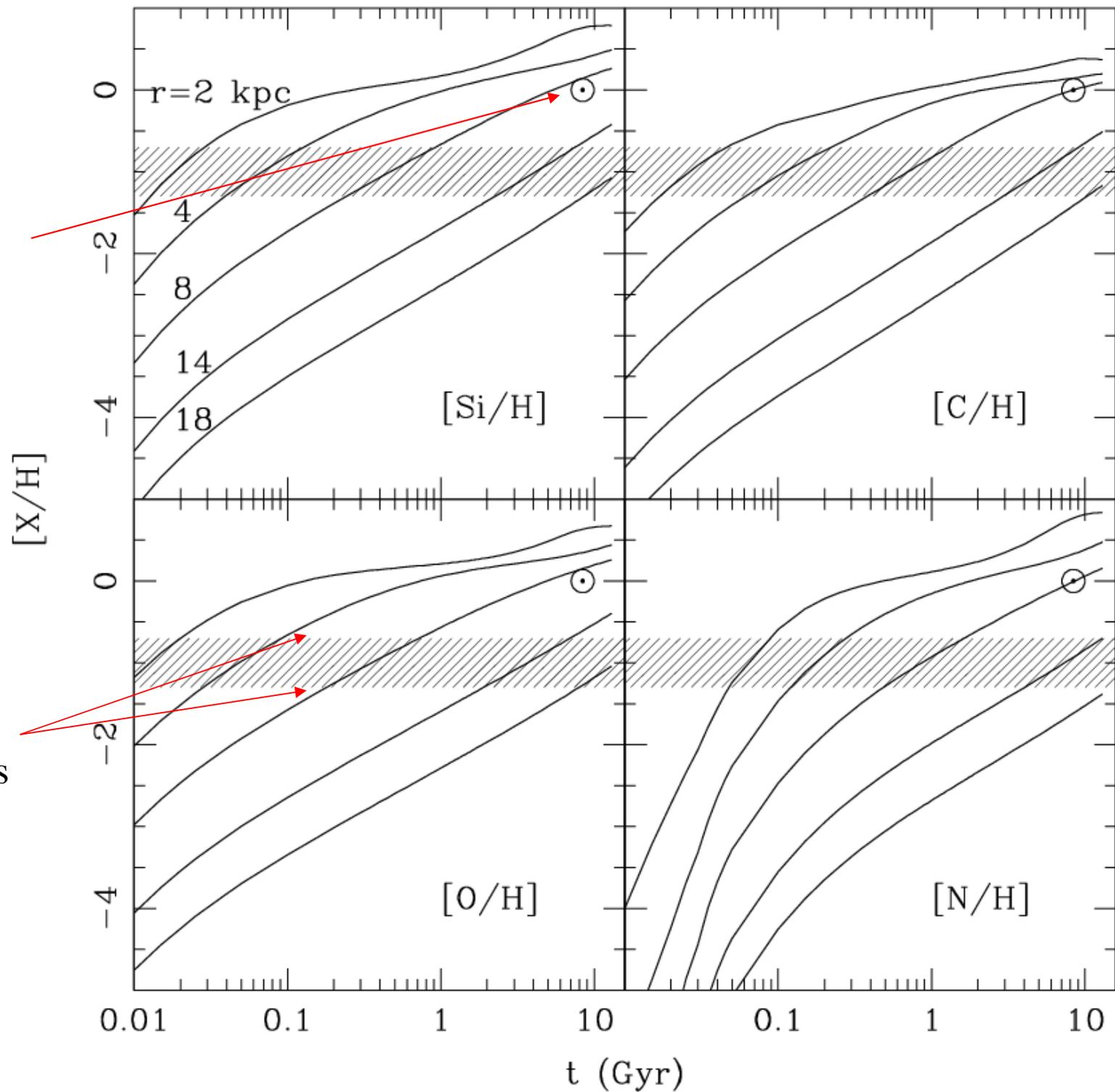
Existe uma Zona Habitável Galáctica?





Posição do Sol
(abundância maior)

Intervalo típico de
estrelas semelhantes
ao Sol



Molecular inventory

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	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	C ₆ H ₆	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	I-C ₃ H	C ₄ H	I-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	HOCH ₂ CH ₂ OH			
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	I-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	NH ₂ CH ₂ COOH			
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	CH ₂ OHCHO	C ₈ H				
CN	HCO	CH ₂ D ⁺ ?	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	C ₂ H ₆					
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	CH ₂ CHOH						
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	CH ₃									
SO	OCS										
SO ⁺	SO ₂										
SiN	c-SiC ₂										
SiO	CO ₂										
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AlNC										
FeO?	H ₂ O ⁺										
SiH											

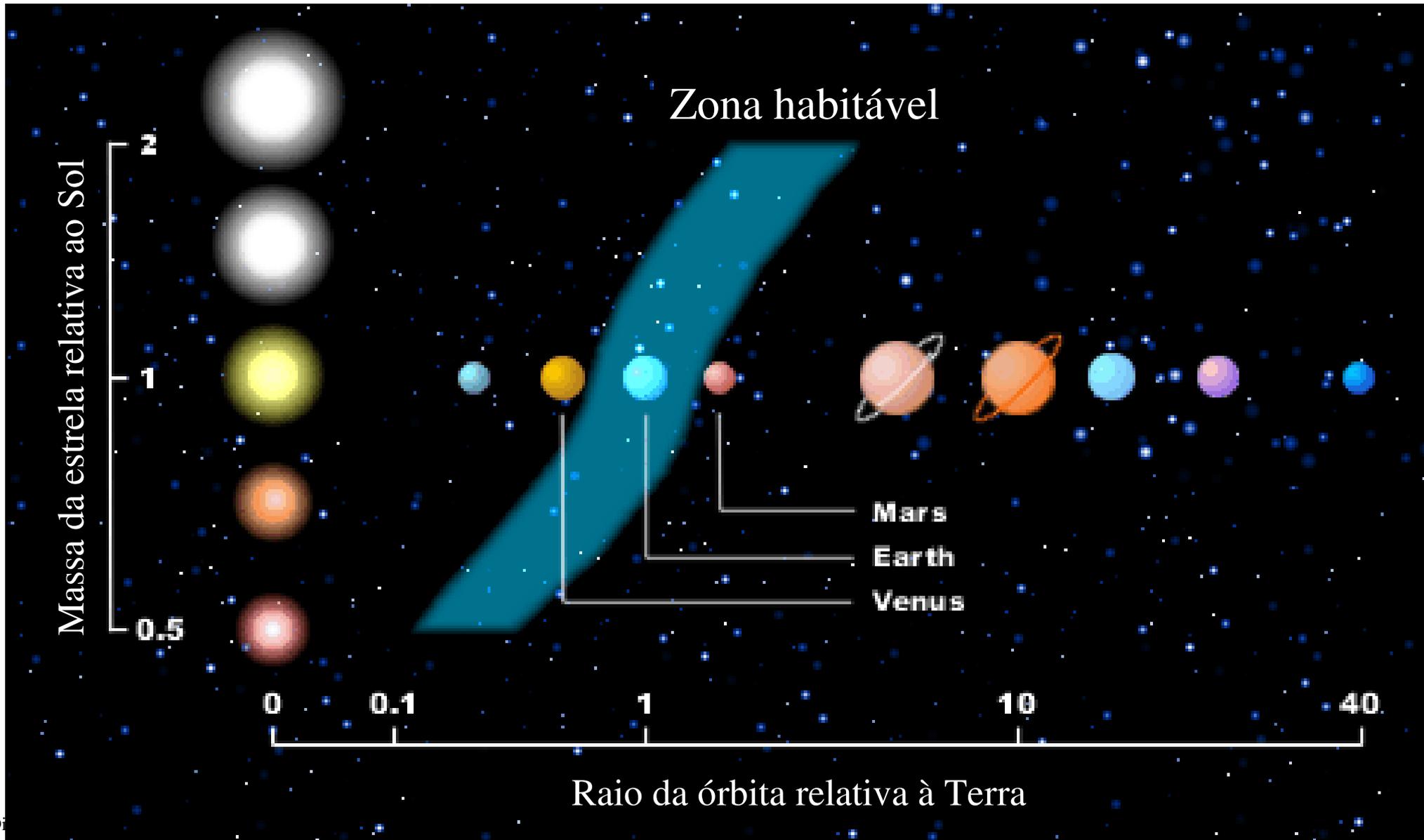
Atualmente 143

Physics World, Charnley et al. 2003

Astronomers have made a list of 131 molecules that have been discovered in interstellar space, which range from simple two-atom species (left) to complex molecules that contain up to 13 atoms. Many of these play important roles in terrestrial biochemistry, and several organic classes are represented: acids, aldehydes, ketones, alcohols, ethers, esters and pre-sugars. Some of these molecules, which include structural isomers such as HCN and HNC, are also present in meteorites and in comets. Many of the hydrocarbons that contain multiple carbon atoms exist as long carbon chains. The smallest member of the cyanopolyne series – cyanoacetylene (HC₃N) – is ubiquitous in molecular clouds, and another member – cyanodecapentayne (HC₁₁N) – is the largest molecule that has been unambiguously identified in the interstellar medium. A few small ring molecules are present in the list but many larger organic compounds await detection in space. The present authors, for example, are currently using the Arizona Radio Observatory 12 m and Green Bank telescopes to search for ring compounds (PAHs) containing nitrogen. Table courtesy of Al Wootten and updated from www.astrochemistry.net.

Zona habitável estelar?

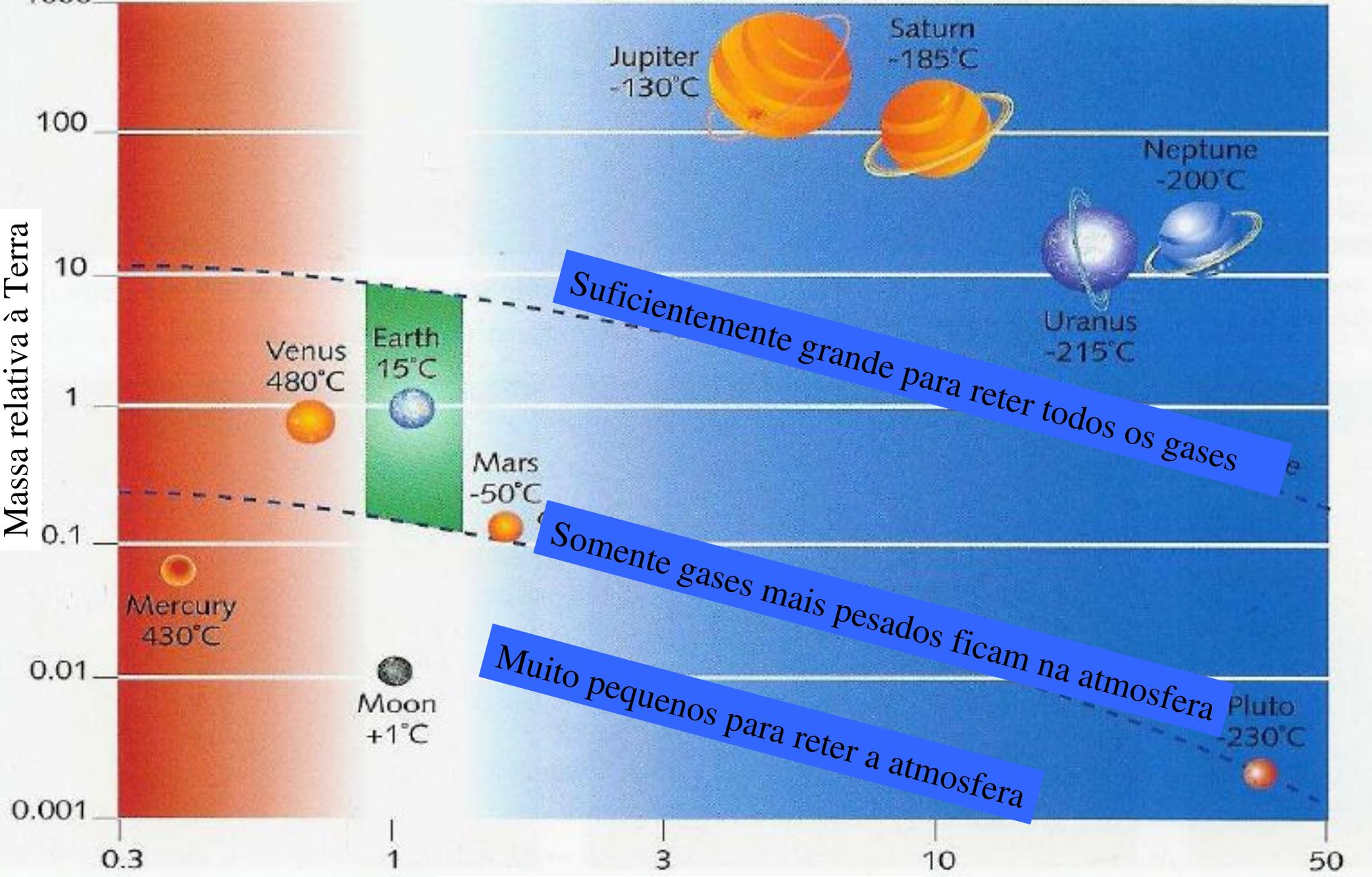
Principais suposições: H₂O superficial por ~ 10⁹ anos, atividade geológica, atmosfera de CO₂-H₂O-N₂, campo B, estabilidade climática, resistência a catástrofes por ~ 10⁹ anos.



Zona habitável

◀◀◀◀◀
Muito quente

▶▶▶▶▶
Muito frio



Suficientemente grande para reter todos os gases

Somente gases mais pesados ficam na atmosfera

Muito pequenos para reter a atmosfera

Distância do Sol relativo à Terra

Chanrley, EAA lectures (2004)

ASTROBIOLOGIA

Habitabilidade Planetária



Centro de Extensão Universitária - SP
C. A. Wuensche
19 de junho de 2006



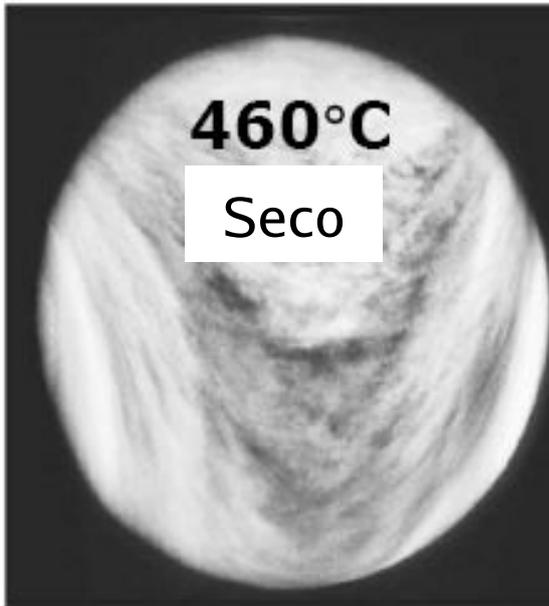


Habitabilidade planetária

- ❖ O que torna um planeta habitável?
- ❖ Por que a Terra é habitável e Vênus e Marte são aparentemente mortos?
- ❖ Como se formaram suas atmosferas e oceanos?
- ❖ Por que a composição química de suas atmosferas é diferente?

3 planetas diferentes, 3 climas diferentes

Vênus
Efeito estufa forte



Muito perto do Sol
Oceanos evaporaram
Muito seco e sem tectônica de placas

Terra



Oceanos
Tectônica de placas
retorna C para a atmosfera
Vida

Marte
Muito frio



Muito pequeno
Sem tectônica de placas
Perda de atmosfera
Muito distante (frio)



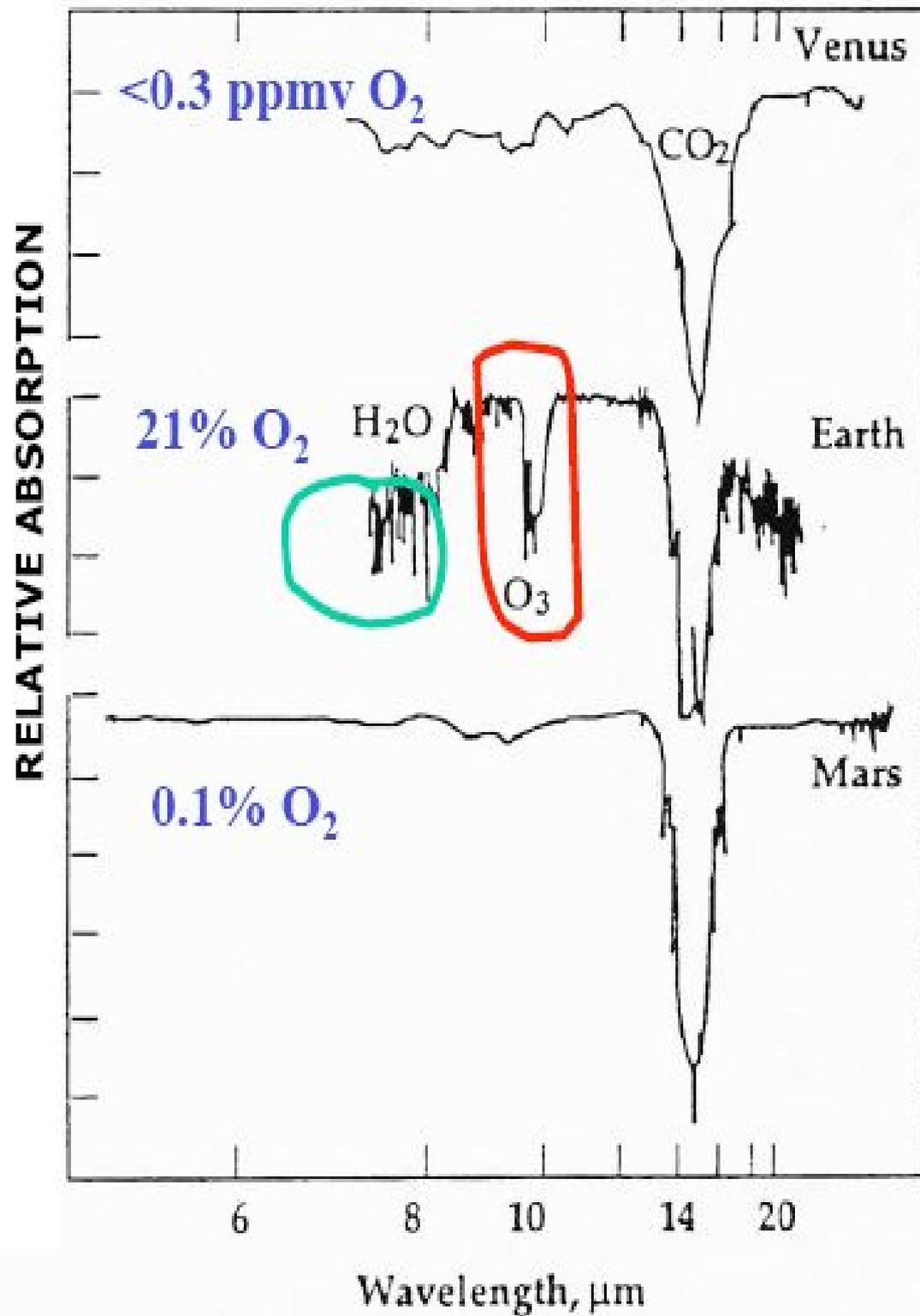
Ausência de ciclos carbonatos-silicatos

☼ Vênus

- ☒ Ausência de água líquida
- ☒ Ausência de chuva e erosão dos silicatos
- ☒ Acúmulo de CO_2 vulcânico

☼ Marte

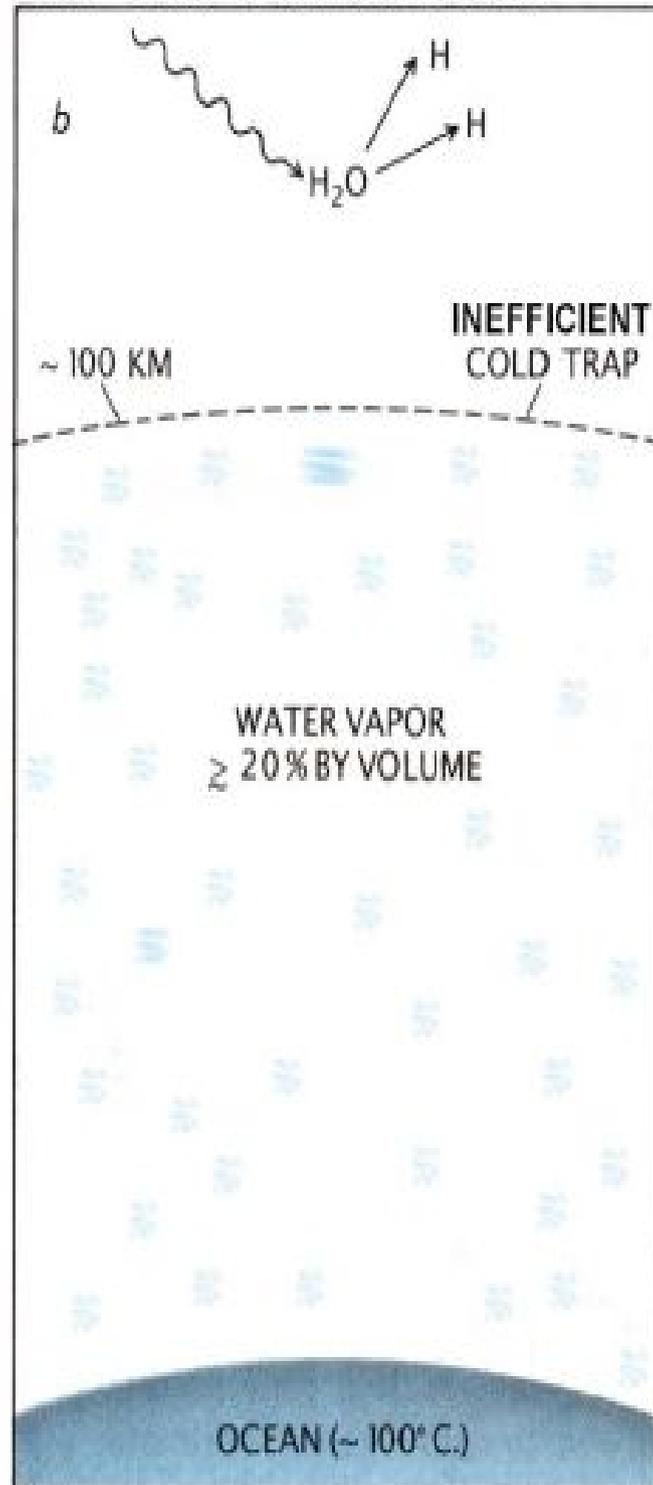
- ☒ Ausência de vulcanismo
- ☒ Ausência de reposição de CO_2
- ☒ Perda de CO_2 para o espaço



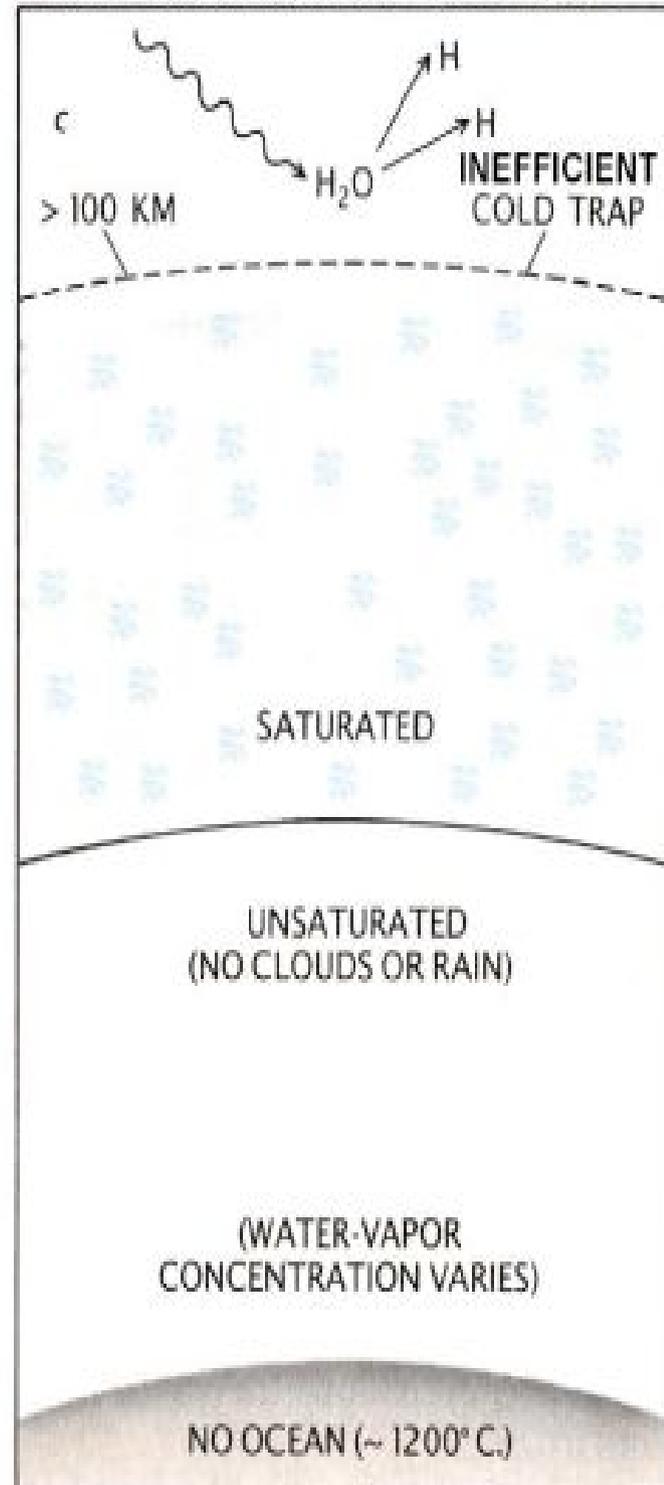
EARTH'S ATMOSPHERE



EARLY VENUS—MOIST GREENHOUSE



EARLY VENUS—RUNAWAY GREENHOUSE



A Terra jovem

- ☒ Intenso impacto de cometas e meteoritos há $\sim 7 \times 10^8$ anos
- ☒ Intensa atividade geológica
- ☒ Primeiras evidências de vida: $\sim 3,6$ bilhões de anos





Impactos, escape hidrodinâmico, atmosferas de vapor...

- ✚ Nos planetas rochosos, atmosferas de vapor provavelmente foram criadas a partir de impactos de asteróides.
- ✚ Escape hidrodinâmico: Energia cinética térmica \sim energia de ligação gravitacional.
- ✚ Atmosfera se expande para o vácuo (análoga ao vento solar). Hidrogênio empurra átomos pesados para fora mais rápido do que a gravidade os puxa.
- ✚ P.ex.: ^{20}Ne é puxado, em detrimento do ^{22}Ne , o que diminui a razão
- ✚ Valores: Solar \sim 13, Atm Terra \sim 9,8, Atm Marte \sim 10, Atm Vênus \sim 11,8



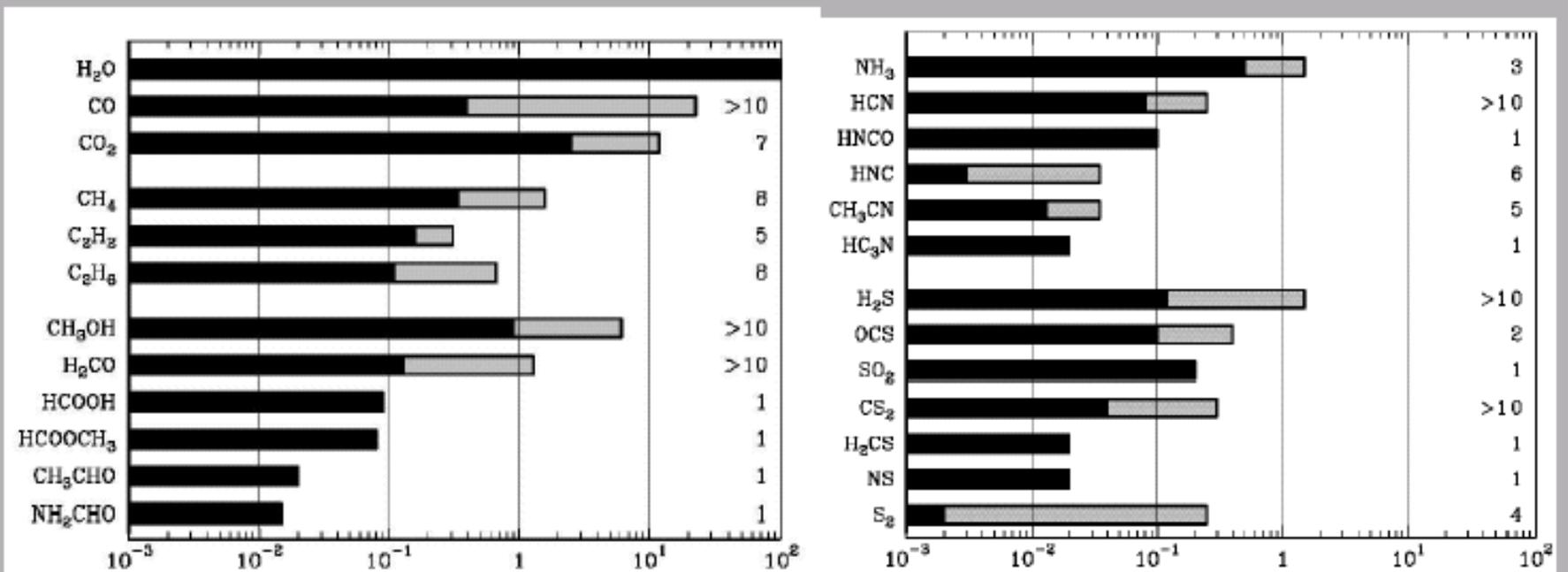
Cometas

- ✦ Essenciais para o entendimento da nuvem que deu origem ao Sistema Solar e sua evolução
- ✦ Sondas para estudar os processos químicos que ocorrem no interior (plano) dos discos astronômicos
- ✦ Possíveis “fornecedores” do material orgânico necessário para disparar o processo da formação da vida na Terra
- ✦ Reservatório de material interestelar virgem?



Chemical Composition of Comets

(The grey bar indicates the range measured to date)

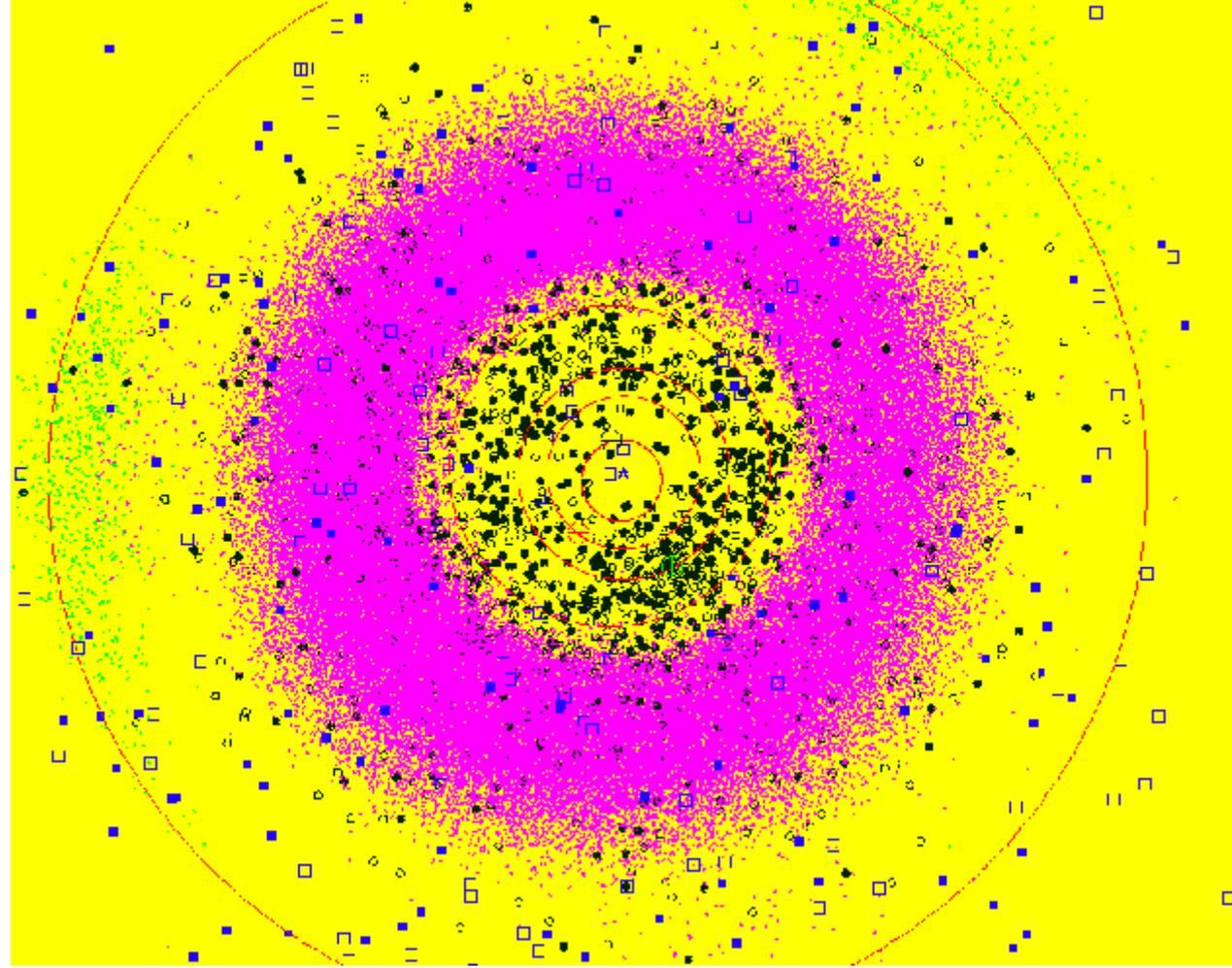


Abundances (% , relative to water)

Bockelee-Morvan, Crovisier, Mumma, and Weaver (Comets II, 2003)

Asteróides

- ☉ Principal fonte de meteoritos
- ☉ Condritos, ferritos rochosos e ferritos
- ☉ Maior interesse na classe dos condritos: silicatos, silicatos com C, silicatos com H₂O
- ☉ Rico em material orgânico (% C > 0,03)
- ☉ Único material extraterrestre passível de ser estudado da Terra
- ☉ Condritos carbonados ⇒ fonte de aminoácidos



Verdes: asteróides
Vermelhos: asteróides a < 1,3 U.A.
Azuis: Cometas
Linhas: órbitas de Júpiter a Mercúrio

Organics Found in Meteorites

Total Carbon Content: > 3% (by weight); Soluble Fraction: < 30% of total C

COMPONENTS:

ACIDS:

Amino acids

- Carboxylic acids
- Hydroxycarboxylic acids
- Dicarboxylic acids
- Hydroxydicarboxylic acids
- Sulfonic acids
- Phosphonic acids

“Tijolos” de proteínas e enzimas

HYDROCARBONS:

- non-volatile: aliphatic
- aromatic (PAH)
- polar
- volatile

FULLERENES:

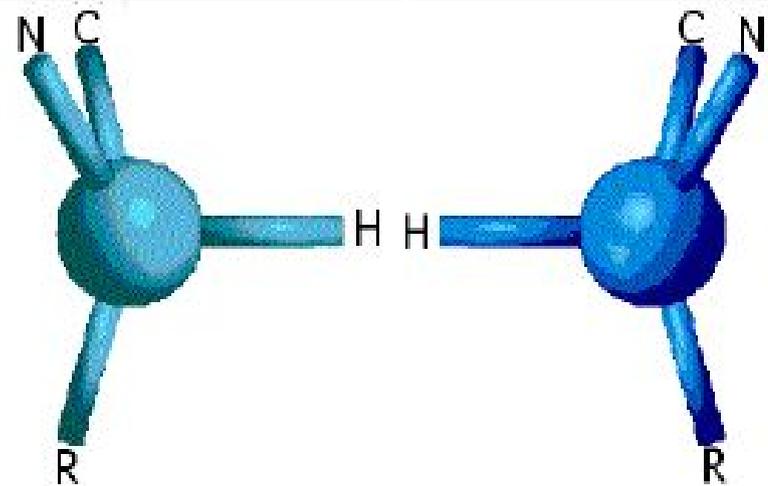
- C₆₀, C₇₀
- He@C₆₀
- Higher Fullerenes

OTHERS:

- N-Heterocycles
- Amides
- Amines
- Alcohols
- Carbonyl compounds

Quiralidade

- ❖ Moléculas idênticas com anti-simetria de reflexão são chamadas de enantiômeros.
- ❖ Enantiômeros:
 - ❑ possuem as mesmas propriedades físicas
 - ❑ giram o plano de polarização da luz em direções opostas
 - ❑ não podem ser diferenciados via cromatografia
- ❖ A vida na Terra baseia-se somente em formas levóginas





Principais fontes (em kg/ano) de compostos orgânicos prébióticos na Terra Jovem

⊕ Fontes terrestres

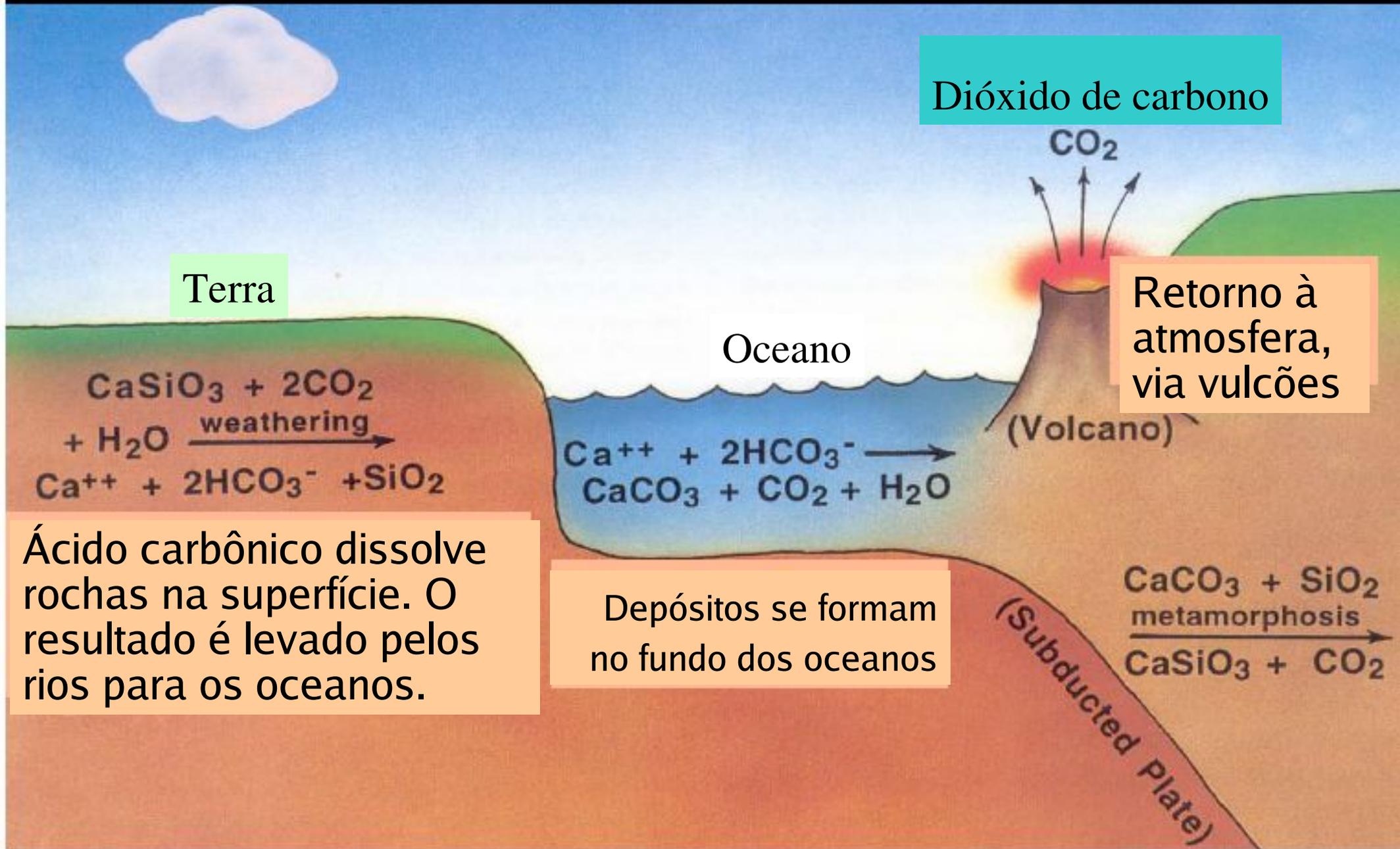
- ⊞ Fotólise UV – 3×10^8
- ⊞ Fontes hidrotermais – 1×10^8
- ⊞ Descargas elétricas – 3×10^7
- ⊞ Choques de impactos – 4×10^8

⊕ Fontes extraterrestres (adaptada de Chyba e Sagan, 1992)

- ⊞ Cometas e meteoritos – 3×10^{11}

⊕ TOTAL: $\sim 10^{11}$

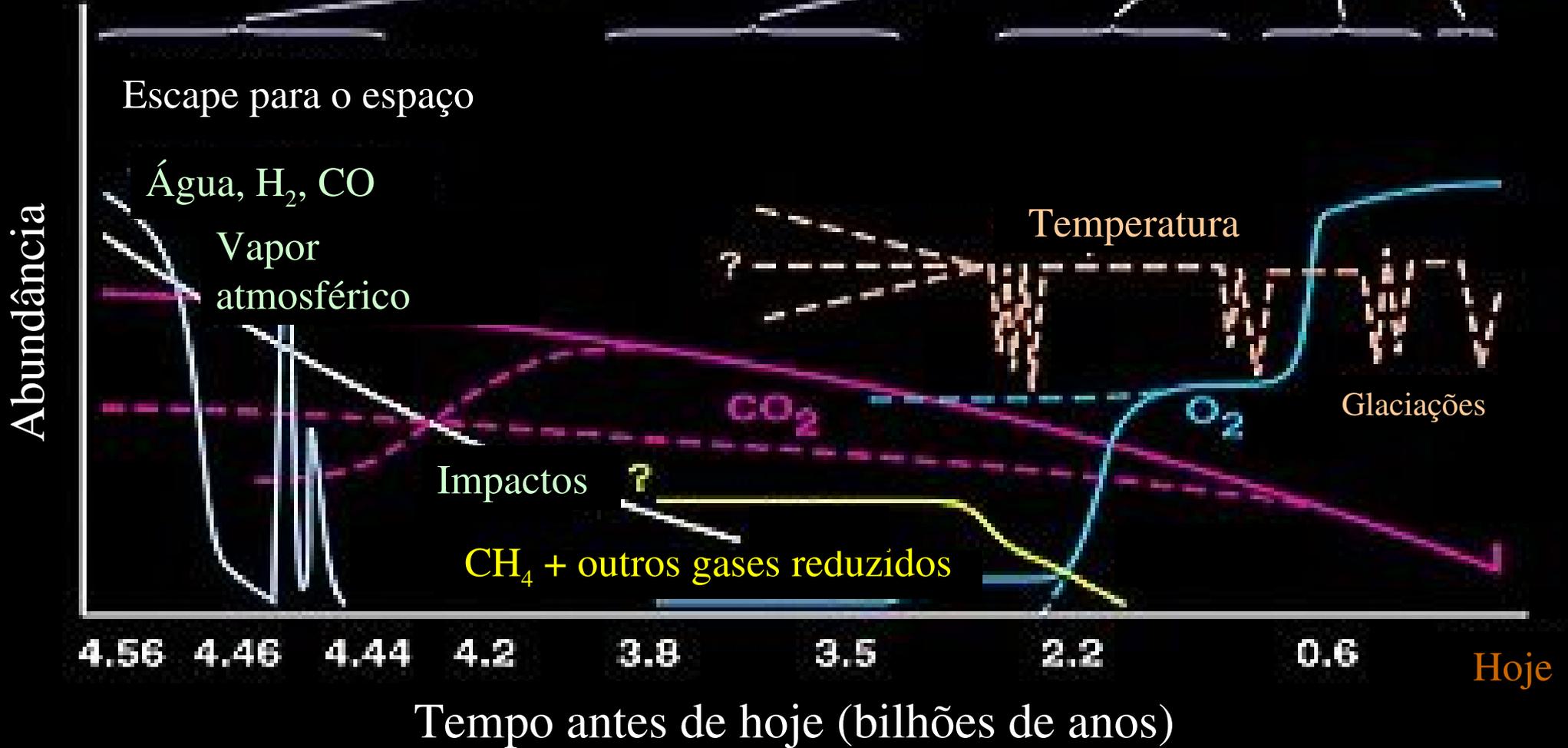
O termostato terrestre





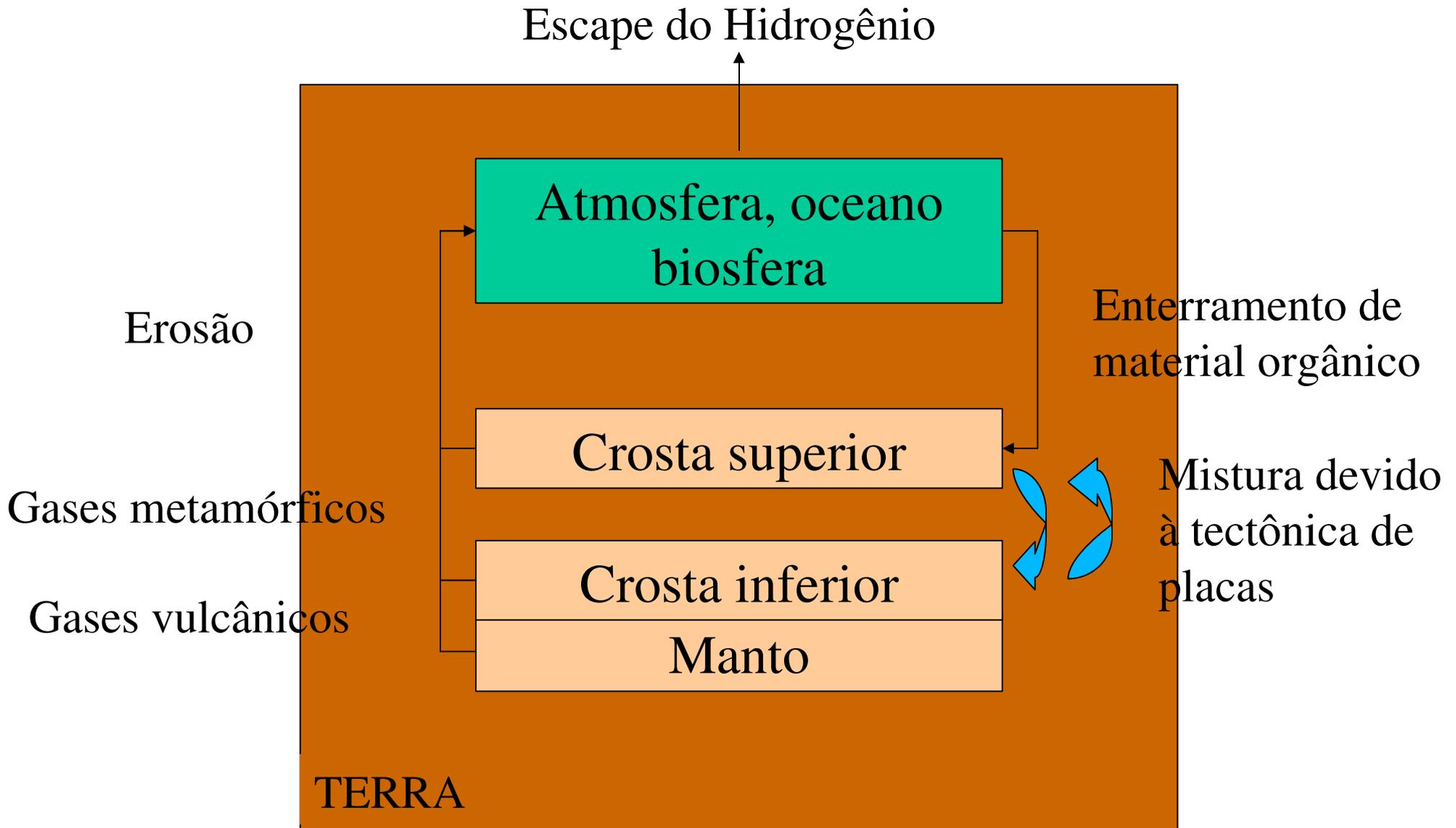
Evolução da atmosfera terrestre

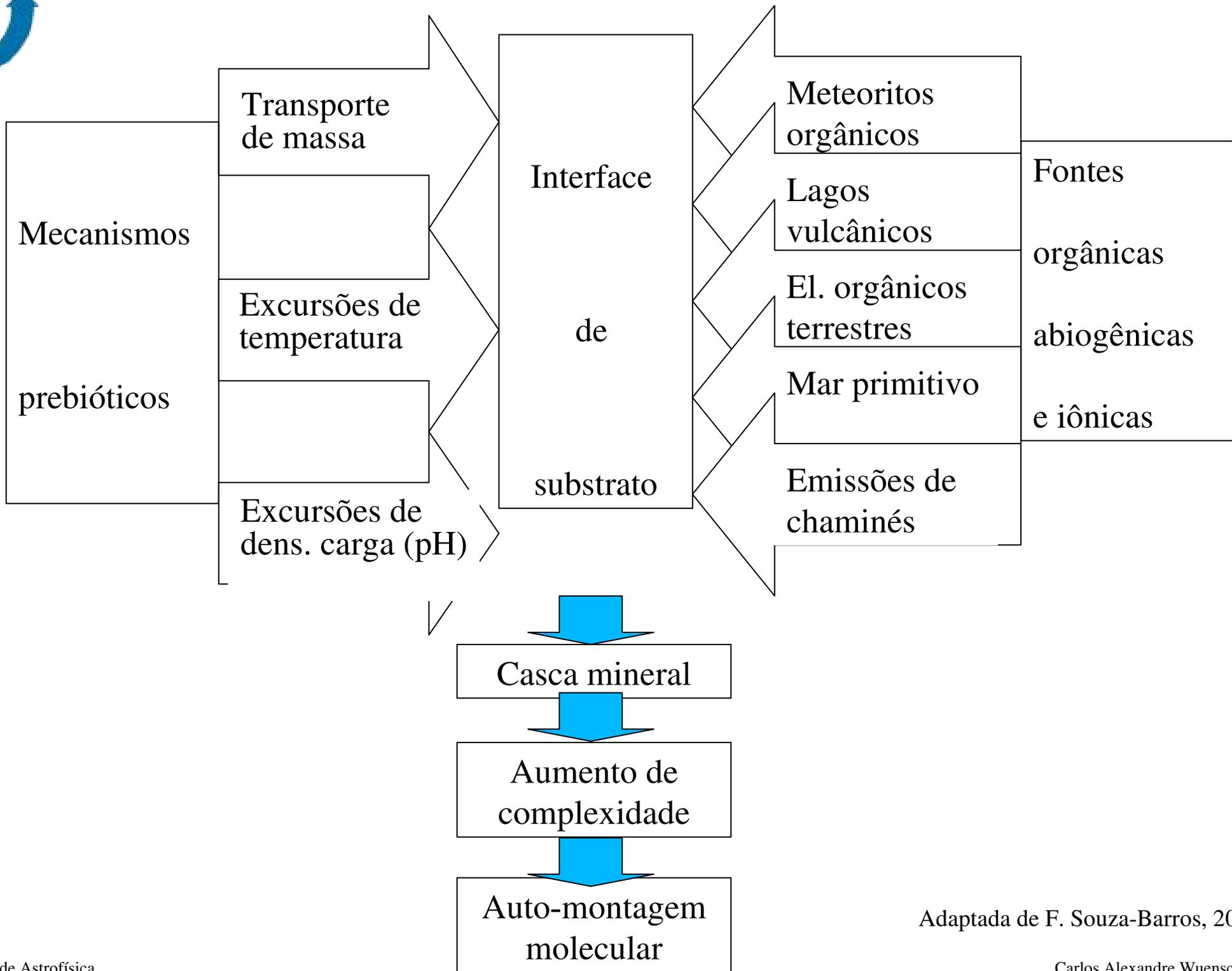
Atmosfera da Terra através dos tempos





Fluxos que afetam o oxigênio



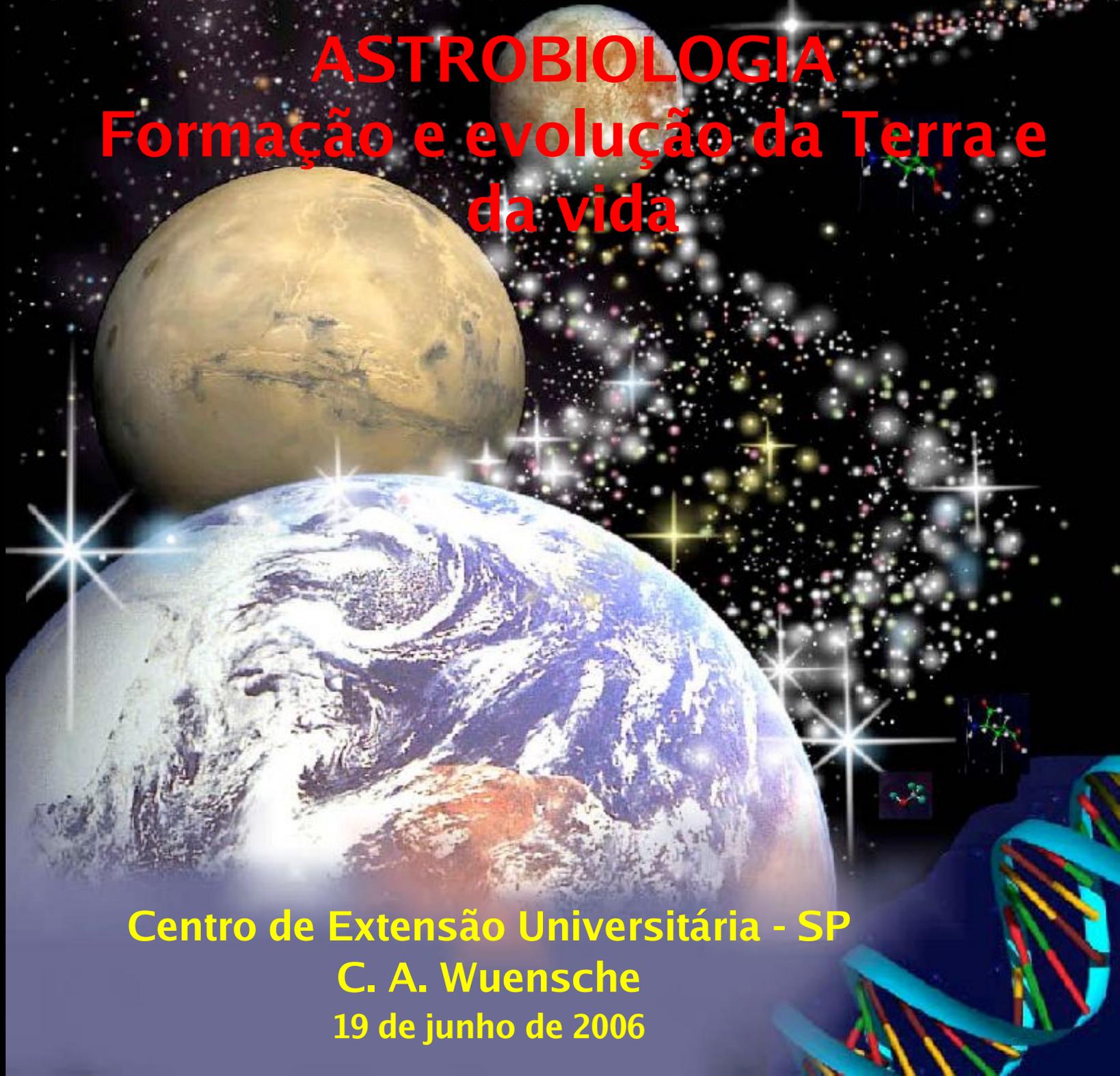


Adaptada de F. Souza-Barros, 2006



ASTROBIOLOGIA

Formação e evolução da Terra e da vida



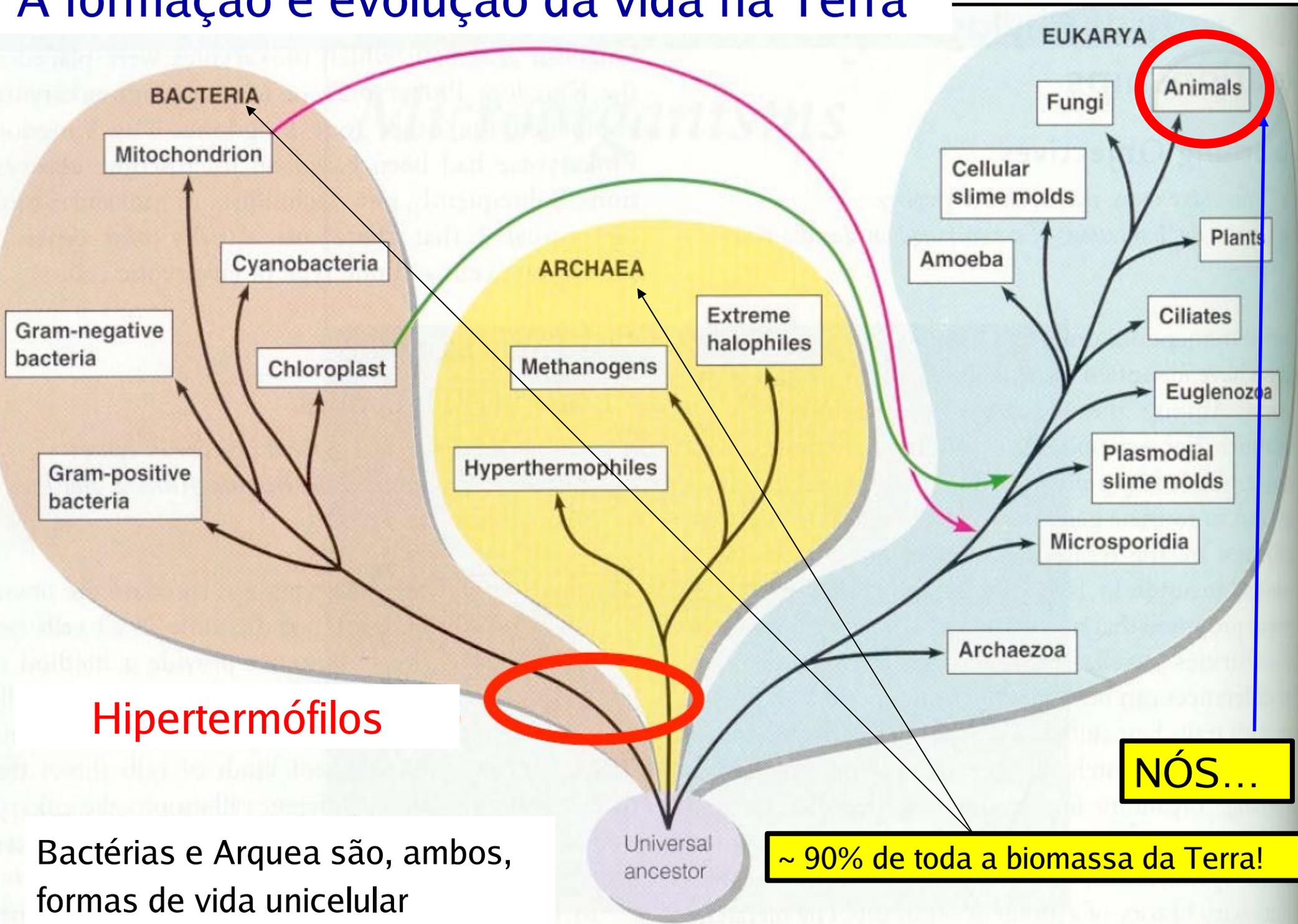
Centro de Extensão Universitária - SP
C. A. Wuensche
19 de junho de 2006



A formação e evolução da vida na Terra

- ⊕ As escalas de tempo
- ⊕ Eucariontes x procariontes
- ⊕ Multicelularidade e diversidade
- ⊕ A importância do Oxigênio
- ⊕ Extinções em massa
- ⊕ Extremófilos

A formação e evolução da vida na Terra



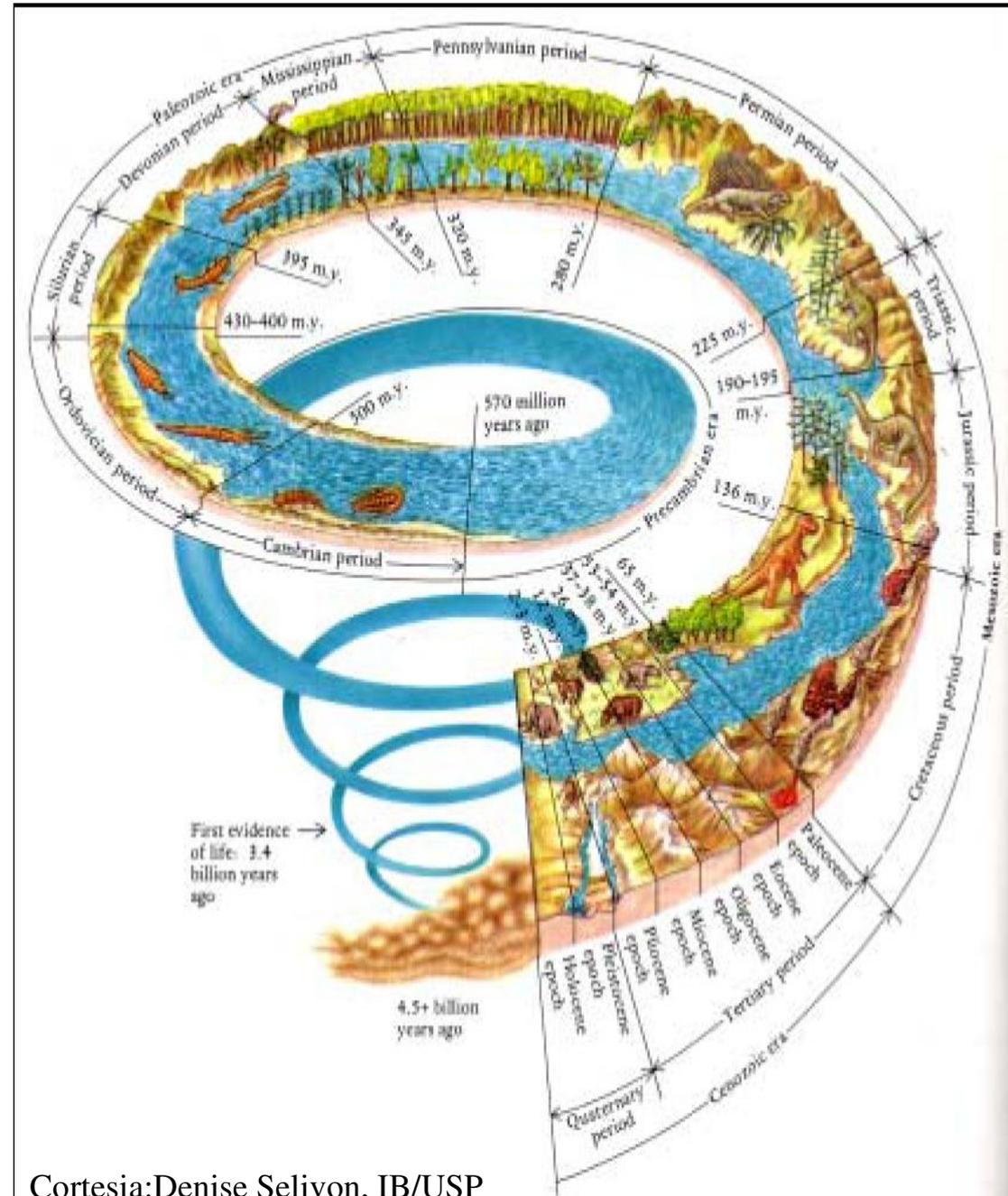
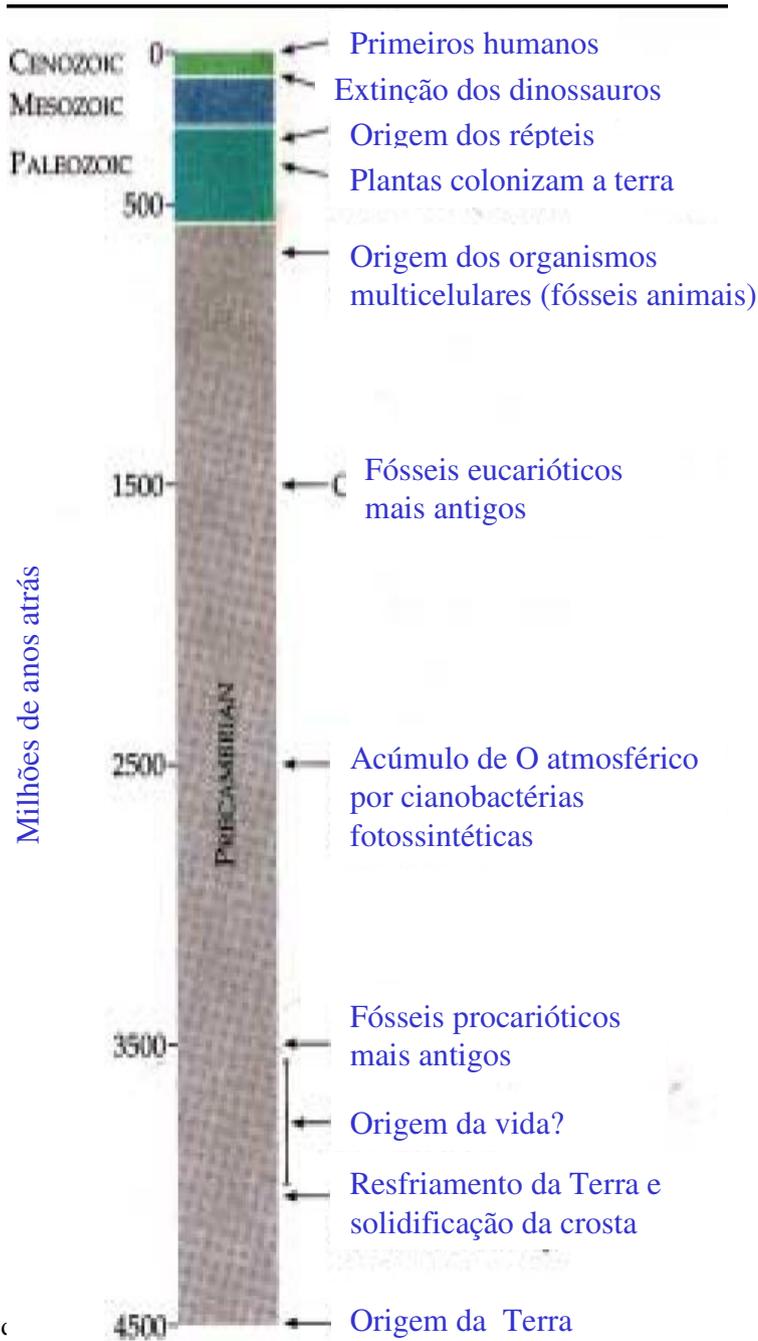
Hipertermófilos

Bactérias e Arquea são, ambos, formas de vida unicelular

NÓS...

~ 90% de toda a biomassa da Terra!

A evolução biológica



Cortesia: Denise Selivon, IB/USP



Parte final da espiral anterior

Diversificação dos Mamíferos
Extinção dos dinossauros

Dinossauros e Mamíferos

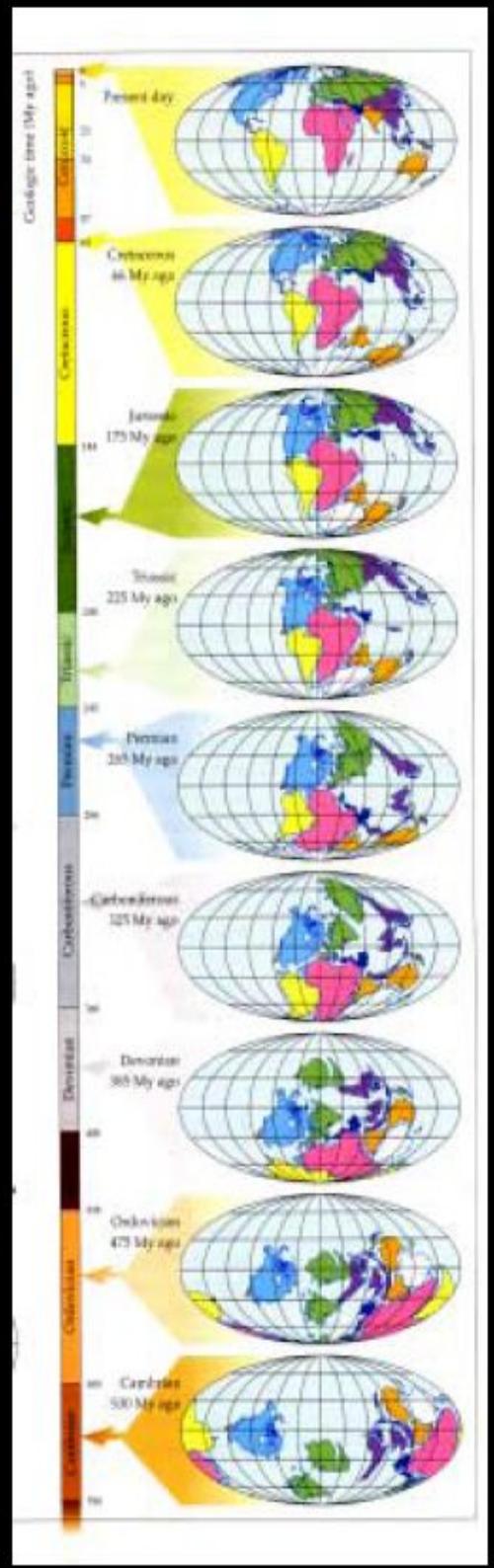
Anfíbios e Amniotas

Vertebrados terrestres

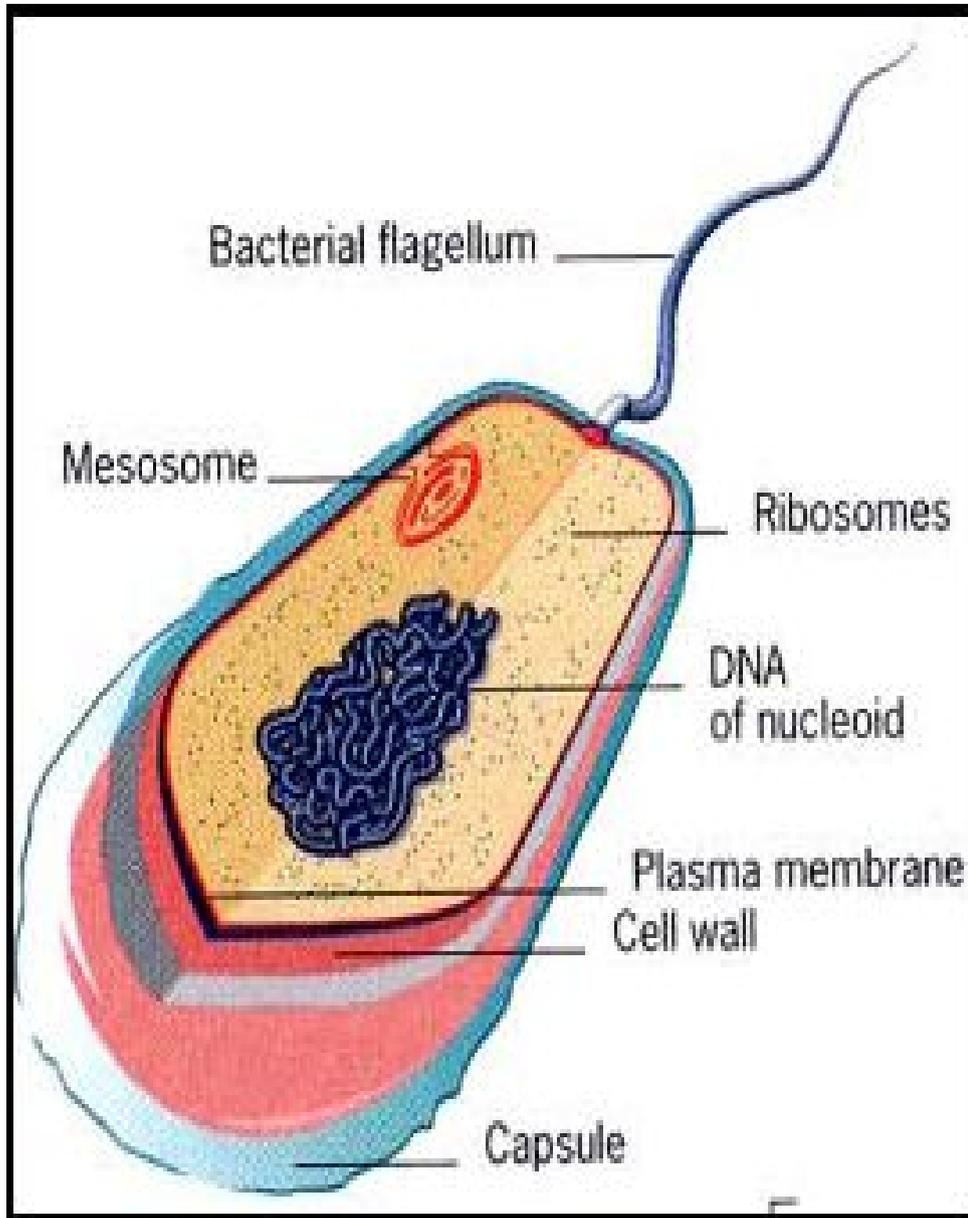
Invertebrados terrestres

Evolução das Plantas

Explosão do Cambriano



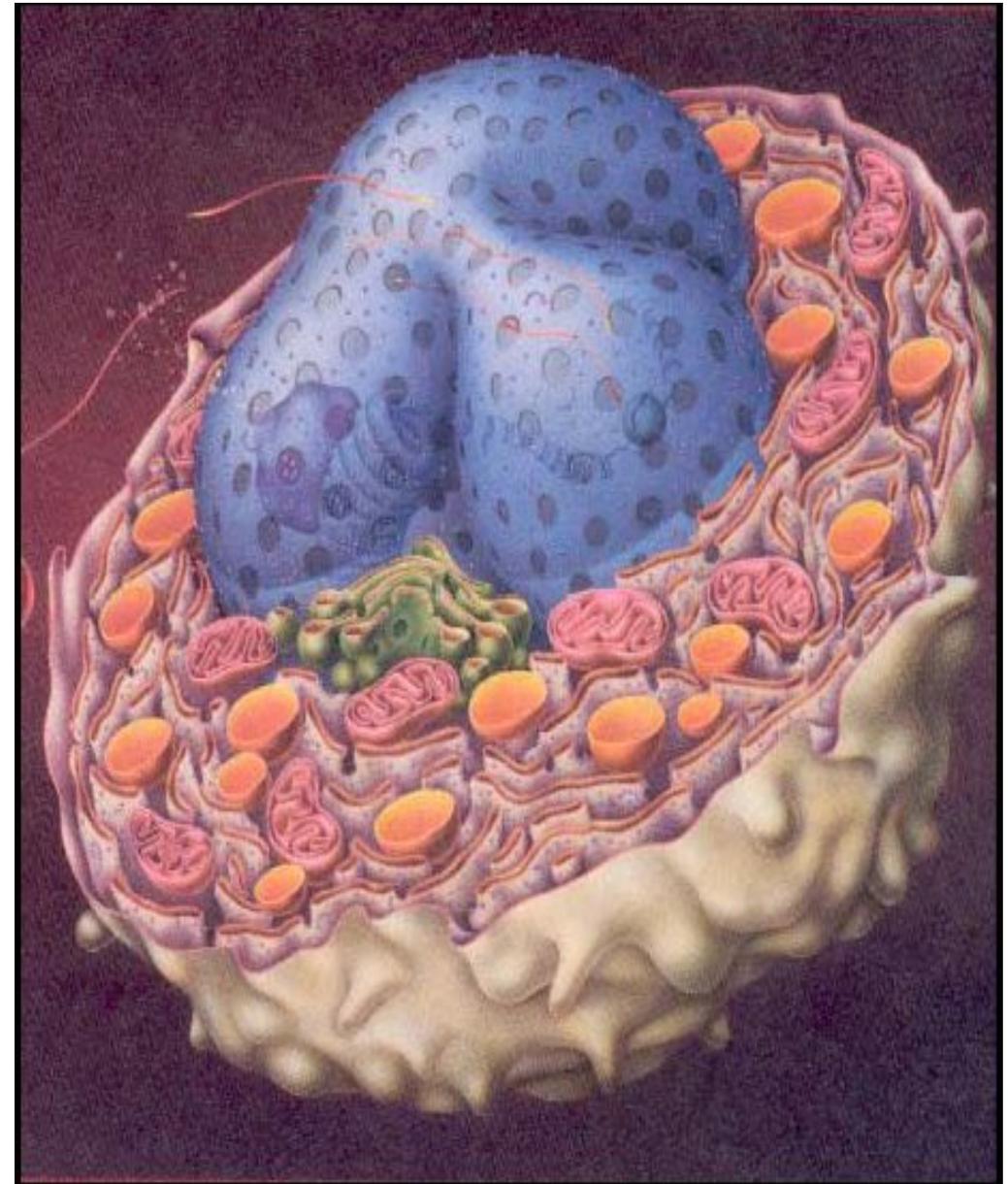
Células procarióticas



- Descendente direto da primeira forma de vida
- 0,2-10 μ m
- Uma única molécula de DNA
- sem organelas
- baixa variabilidade metabólica
- sem citoesqueleto
- divisão simples

Células eucarióticas

- ✦ Aparecimento ~ 2,5 bilhões de anos
- ✦ 10-100 μ m
- ✦ genoma DNA + proteínas
- ✦ presença de organelas
- ✦ metabolismo oxidativo
- ✦ presença de citoesqueleto
- ✦ divisão por mitose/meiose

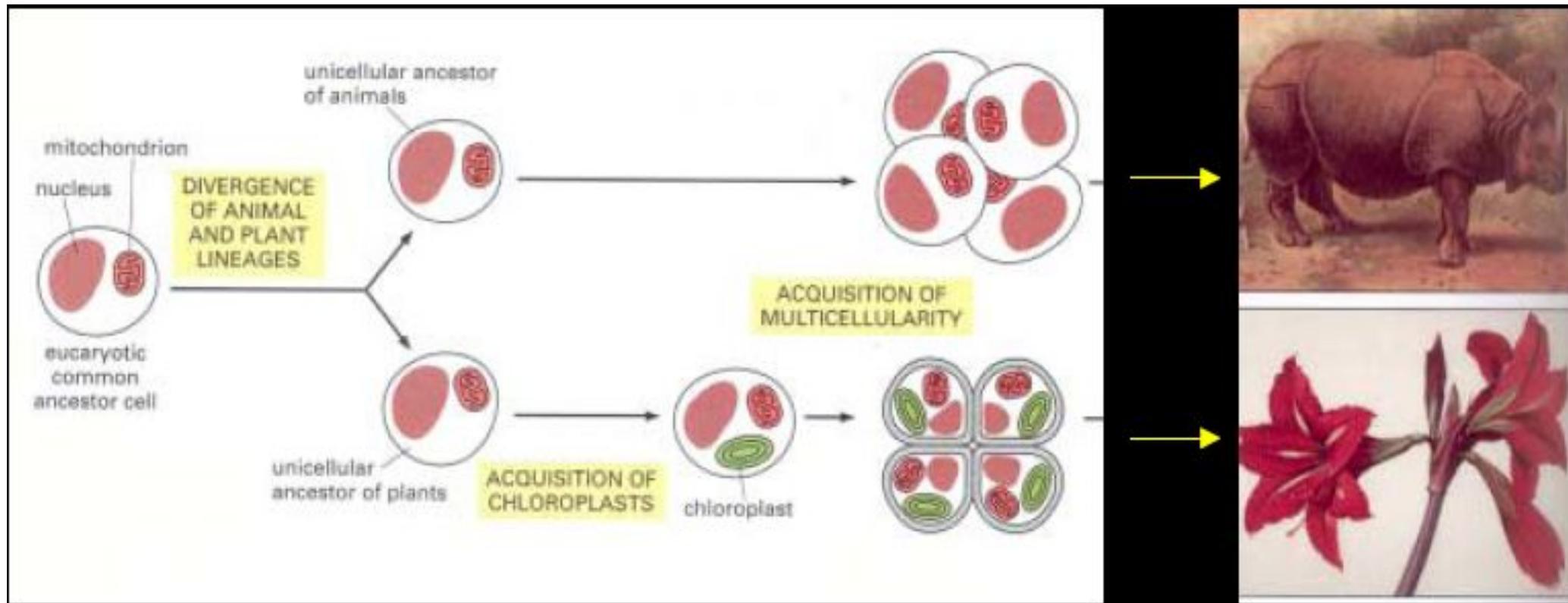




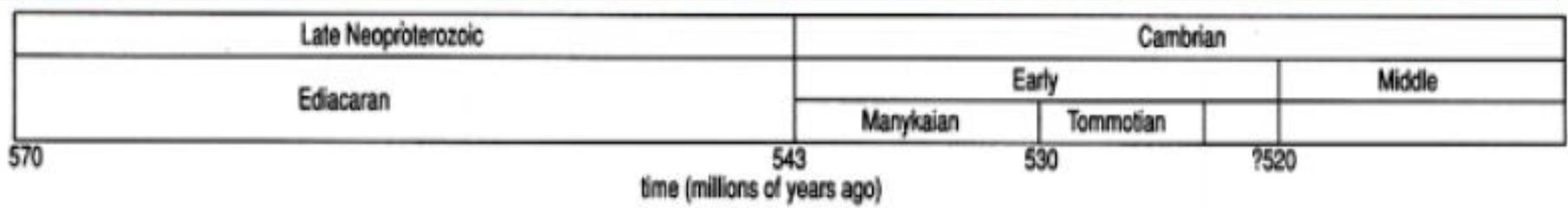
Origem da multicelularidade

- ✦ Estimativa: 800-600 milhões de anos atrás.
- ✦ Tendência à agregação de várias células, formando colônias (diferenciação).
- ✦ Crescimento de uma célula com divisão nuclear, com posterior individualização.

Origem da multicelularidade



A diversidade biológica

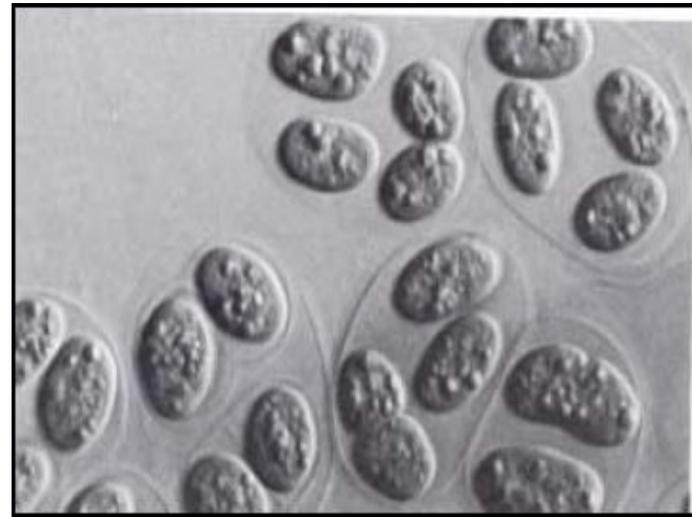




Atividade biológica – pré-Cambriano (> 600 milhões de anos)



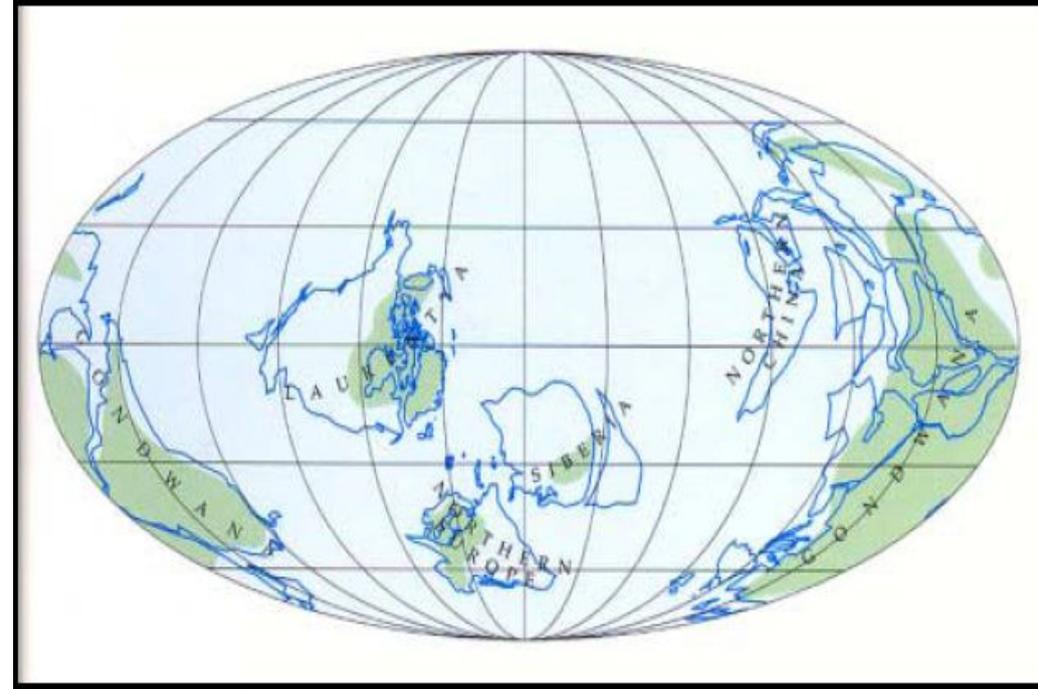
Algas verdes



Cianobactéria

S

Explosão Cambriana



☩ Causas Ambientais

- ☒ O oxigênio atingiu um limiar crítico para o crescimento
- ☒ Nutrientes tornaram-se disponíveis em grandes quantidades
- ☒ Temperaturas moderadas após o evento “Bola de Neve”

☩ Causas Biológicas

- ☒ Advento de exoesqueletos
- ☒ Hipótese da Ação Predatória
- ☒ Transposição de Limiares Evolutivos

Cortesia:Denise Selivon, IB/USP



Terra Bola-de-Neve

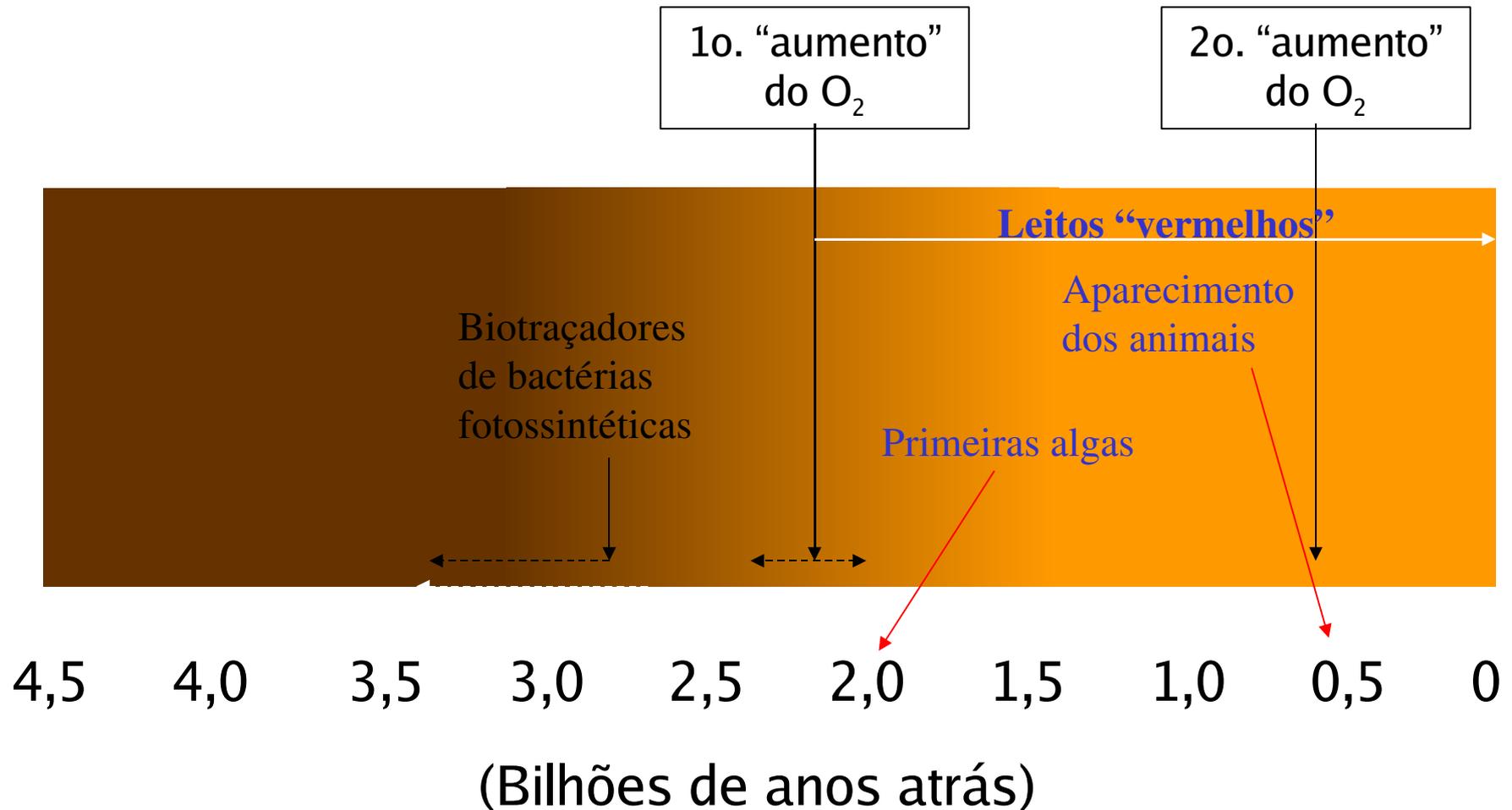
- ❖ 2,4–2,2 bilhões de anos
 - ❑ consequência: células eucarióticas
- ❖ 0,73-0,6 bilhões de anos
 - ❑ consequência: explosão do Cambriano
- ❖ Cruciais para a evolução ou fator de aceleração ?
- ❖ Por que após a explosão do Cambriano não ocorreram inovações evolutivas da mesma magnitude?
 - ❑ Restrições ecológicas
 - ❑ Restrições genômicas



Vida e oxigênio co-evoluíram...

Primeiro aumento do O_2 : camada de ozônio, fósseis visíveis

Segundo aumento de O_2 : vida animal, fósseis abundantes





Leitos vermelhos

as rochas arenosas avermelhadas apareceram há ~ 2,3 Gaos

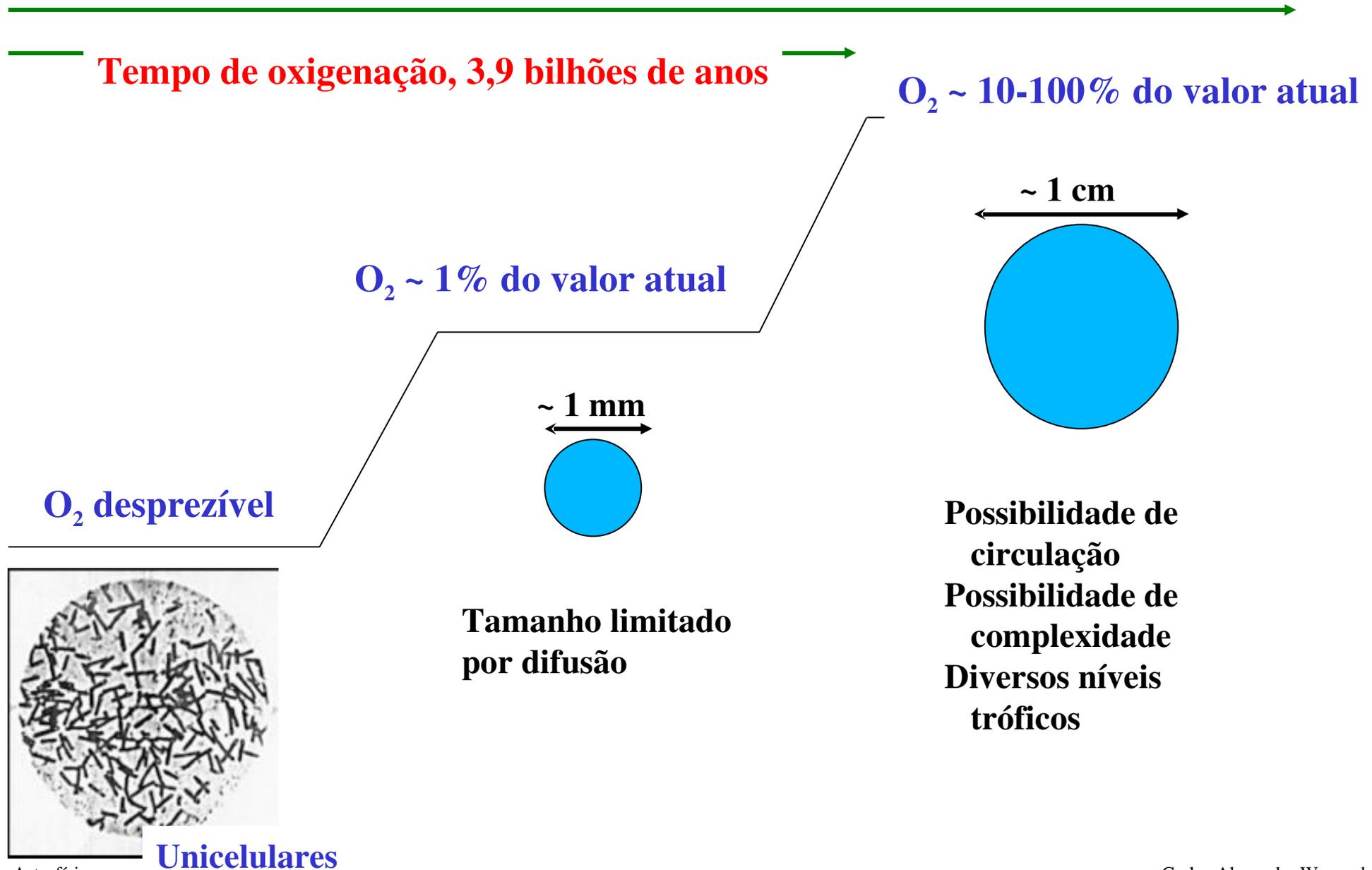


Fe_2O_3 requer a presença de O atmosférico



Oxigênio e o tamanho da vida

Linha do tempo



As grandes extinções





Extinções em massa

- ✿ Ordoviciano (438 milhões de anos)
 - ✻ Braquiópodes, trilobitas
- ✿ Devoniano (367 milhões de anos)
 - ✻ Braquiópodes, trilobitas
- ✿ Permiano (245 milhões de anos)
 - ✻ 50% famílias, 95% espécies
- ✿ Triássico/Jurássico (208 milhões de anos)
 - ✻ Braquiópodes, moluscos, artrópodes e vertebrados
- ✿ Cretáceo/Terciário (65 milhões de anos)
 - ✻ Dinossauros, pterodáctilos, répteis e diversos outros grupos marinhos



☩ Extinção do Ordoviciano (70% das espécies)

☒ Diversificação:

- braquiópodes
- corais
- esponjas
- briozoários
- equinodermos
- euripterídeos
- nautilóides gigantes

☩ Extinção do Devoniano

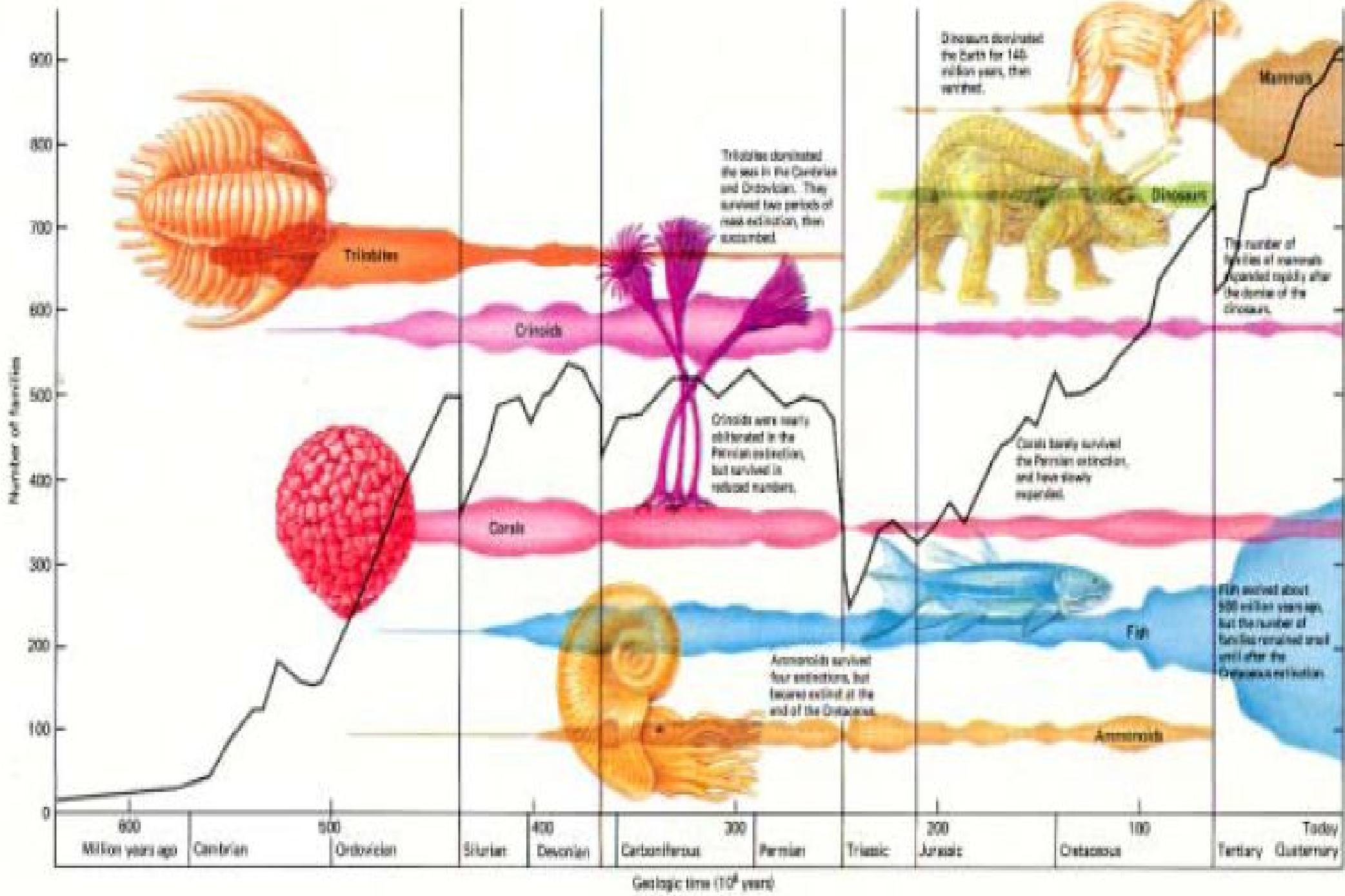
☒ Diversificação:

- bivalves
- gastrópodes
- ouriços
- vertebrados marinhos

☩ Extinção do Permiano (95% das espécies)

☒ Diversificação:

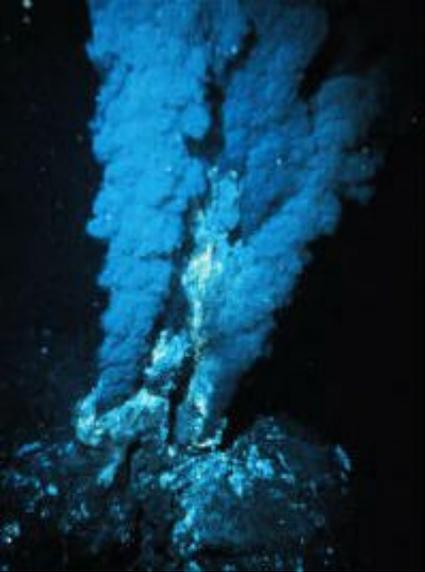
- bivalves
- gastrópodes
- ouriços
- peixes





Extremófilos

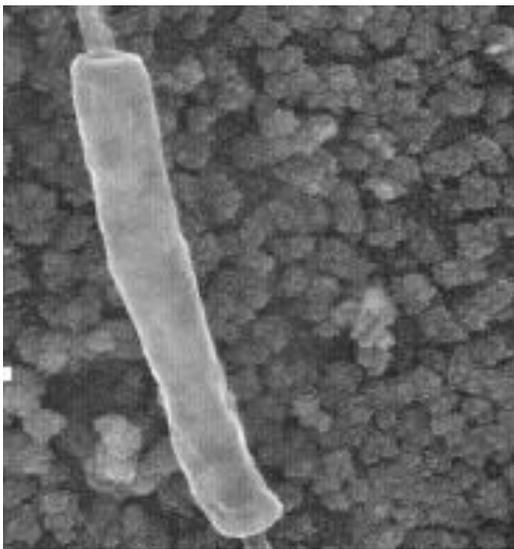
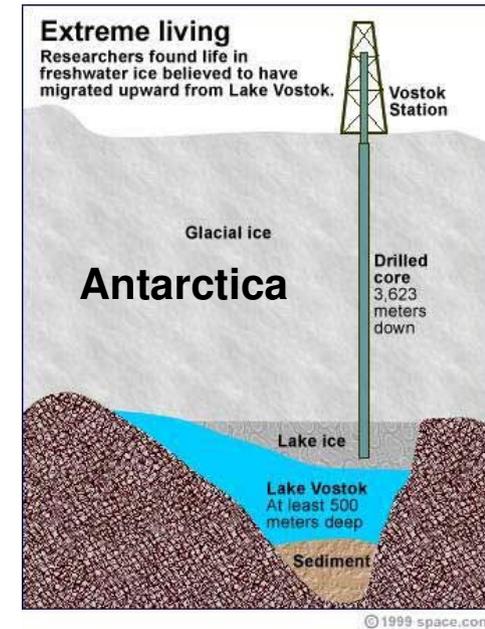
- ✦ Temos mais células de micróbios do que células humanas no nosso corpo
- ✦ A primeira forma de vida na Terra foi um micróbio.
- ✦ Única forma de vida existente na Terra durante os 3 primeiros bilhões de anos
- ✦ Micróbios podem viver em condições REALMENTE extremas. Há mais vida “dentro do solo” do que na superfície da Terra
- ✦ Candidatos mais prováveis a forma de vida extraterrestre.



“Dutos”
hidrotermais

Guia de sobrevivência dos extremófilos

- Temperatura: $-15^{\circ}\text{C} < T < 230^{\circ}\text{C}$
- $0.06 < \text{pH} < 12.8$
- $0 < \text{Pressão} < 1200 \text{ atm}$
- Metabolismo não-necess. baseado em Oxigênio
- 20-40 milhões de anos de dormência
- 2 ½ anos no espaço, a -250 C , sem nutrientes, água e expostos à radiação (*Strep. Mitis*)

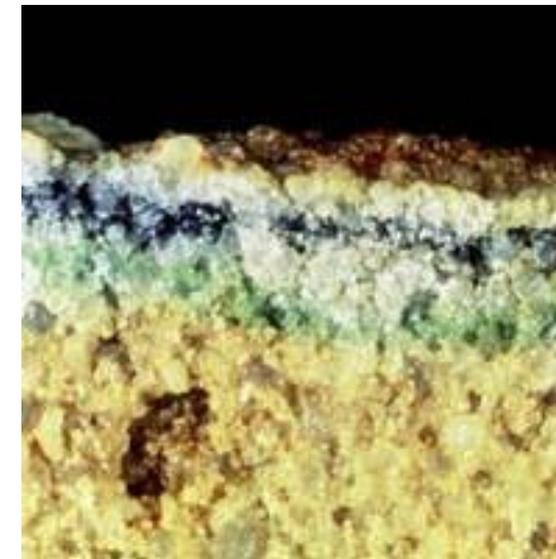


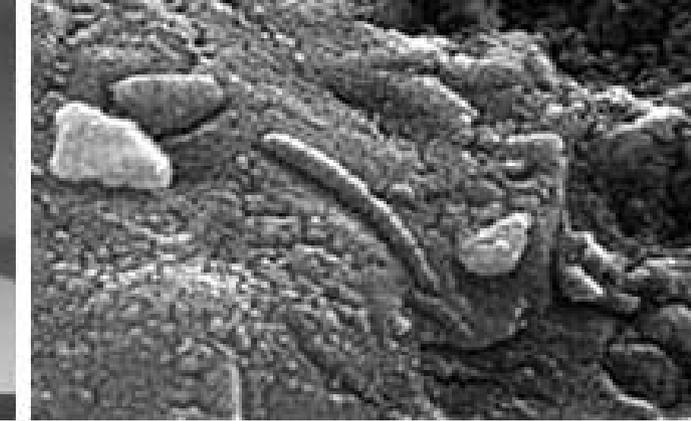
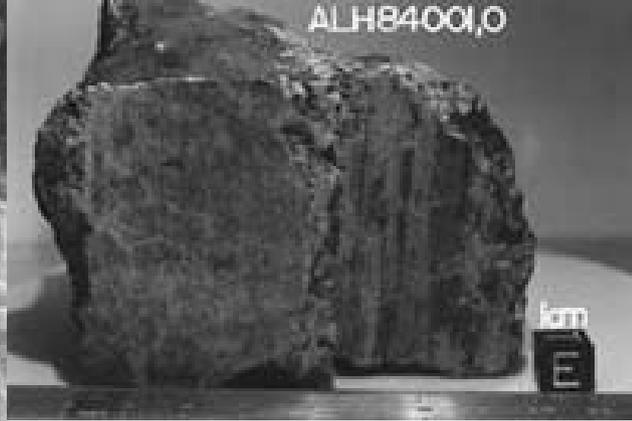
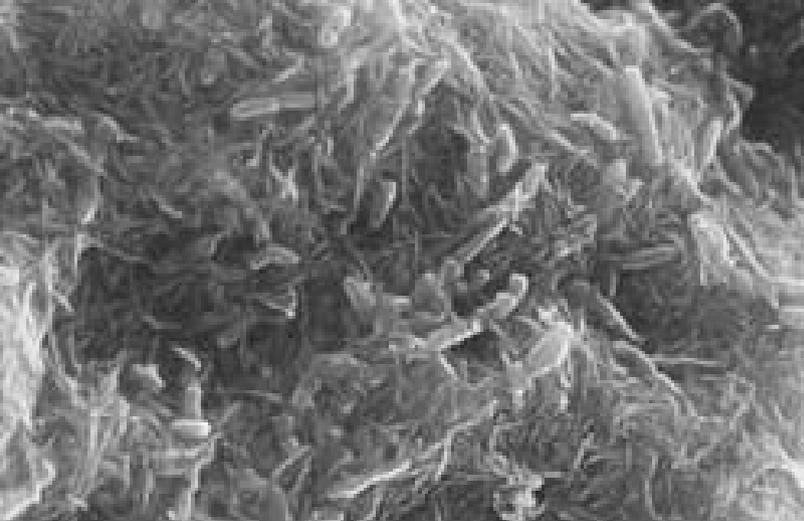
Bactérias termófilas

Fontes quentes



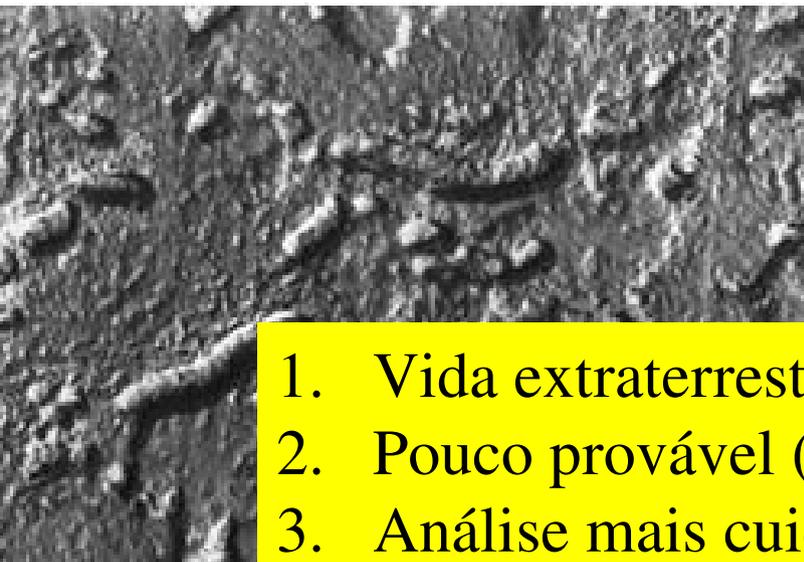
Criptoendolitos





A meteorite called ALH84001 (left) found on the Antarctic ice-fields proved to be an ancient Martian rock. Slices of the rock (right) contain organic material and, more controversially, evidence for fossilized microbes.

Images of microorganisms on Earth (top, thick rods about 3 micrometers long) and of possible fossils of microorganisms found within a rock from Mars (bottom, rods about 0.1 micrometers long) hint that life might be found beyond Earth.



1. Vida extraterrestre? (McKay, 1996)
2. Pouco provável (% aminoácidos ~ algumas ppb)
3. Análise mais cuidadosa \Rightarrow Aminoácidos de origem terrestre
4. Possível fração “marciana” < 1 ppb (Bada et al. 1998)

ASTROBIOLOGIA

A busca de vida extraterrestre



Centro de Extensão Universitária - SP
C. A. Wuensche
19 de junho de 2006





Procurando vida...

❖ Não inteligente...

- ❑ Busca de bio-traçadores no Sistema Solar.
- ❑ Busca de planetas extra-solares.
- ❑ Busca de bio-traçadores em planetas extra-solares.

❖ Inteligente...

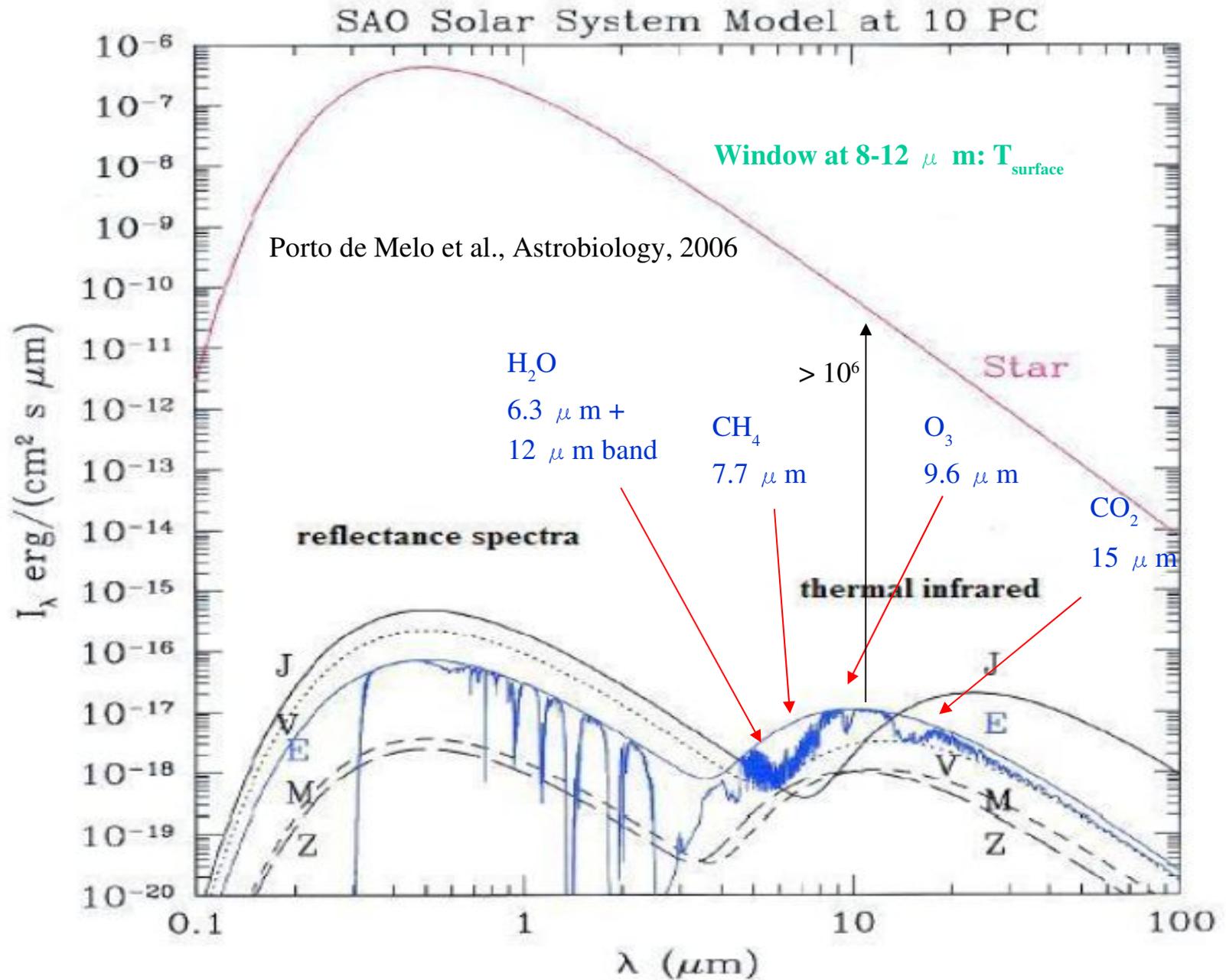
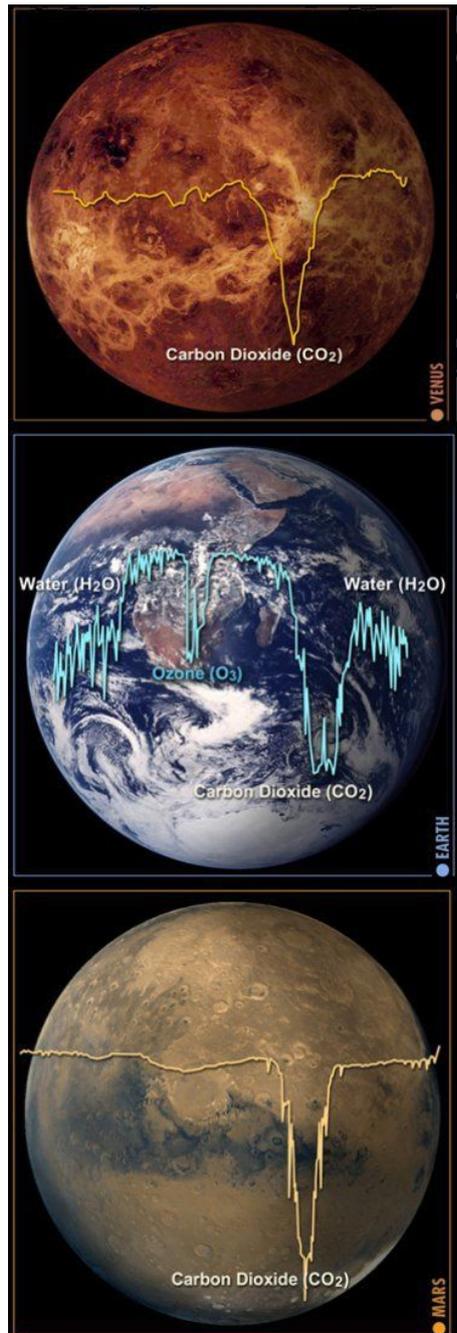
- ❑ Busca de sinais “não-naturais” vindos de outro local do Universo (SETI).

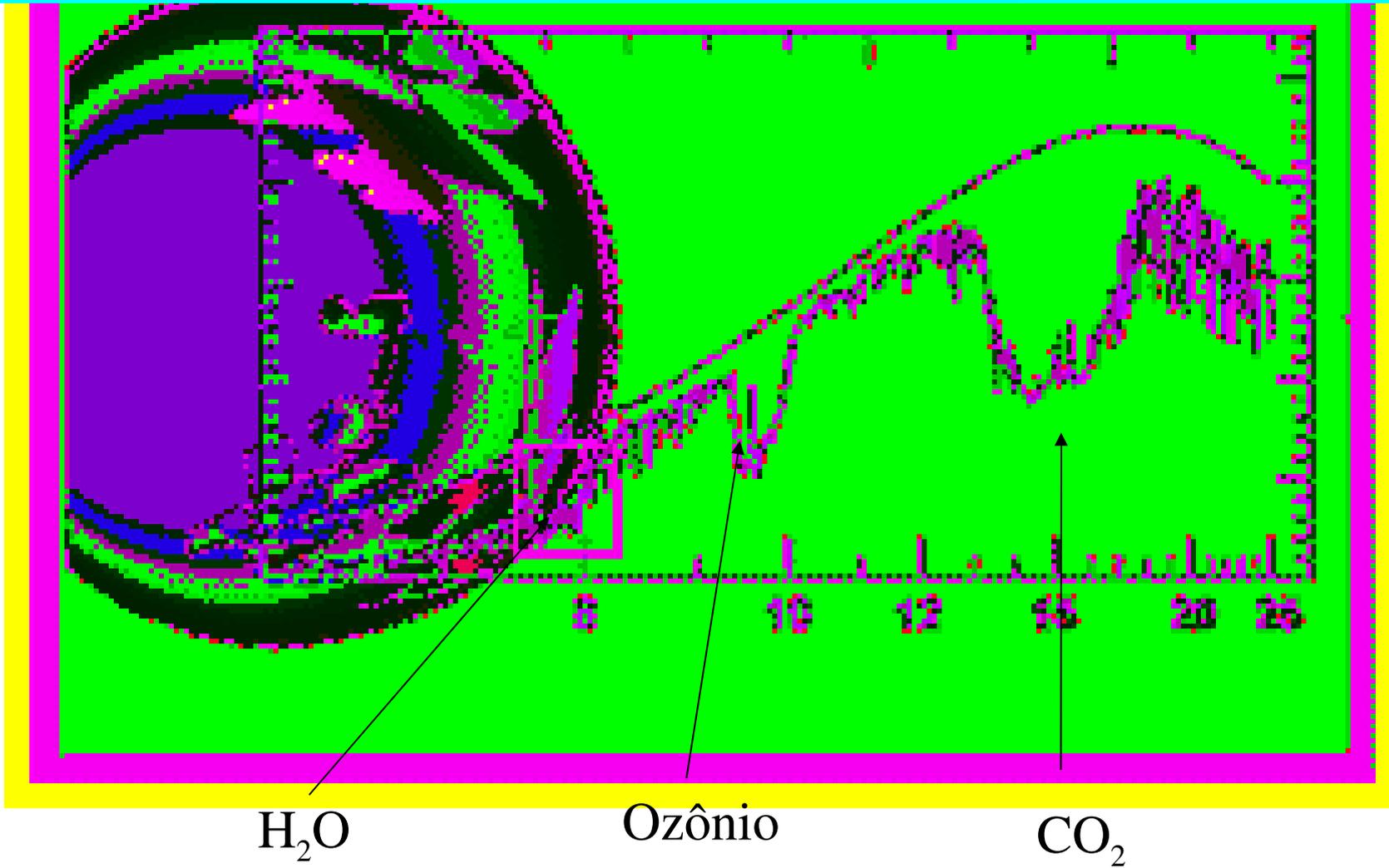
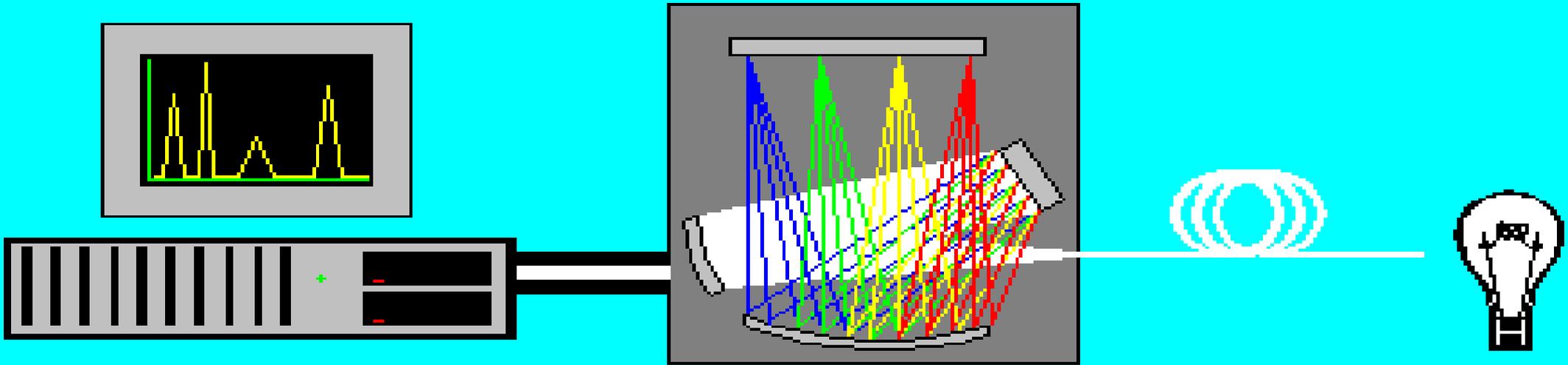
J. Tarter, Annual Review of Astronomy and Astrophysics (2001)



Possibilidade de detecção remota de vida

Explorar o contraste planeta/estrela no **IV térmico** (Des Marais et al. 2002, Segura et al. 2003)

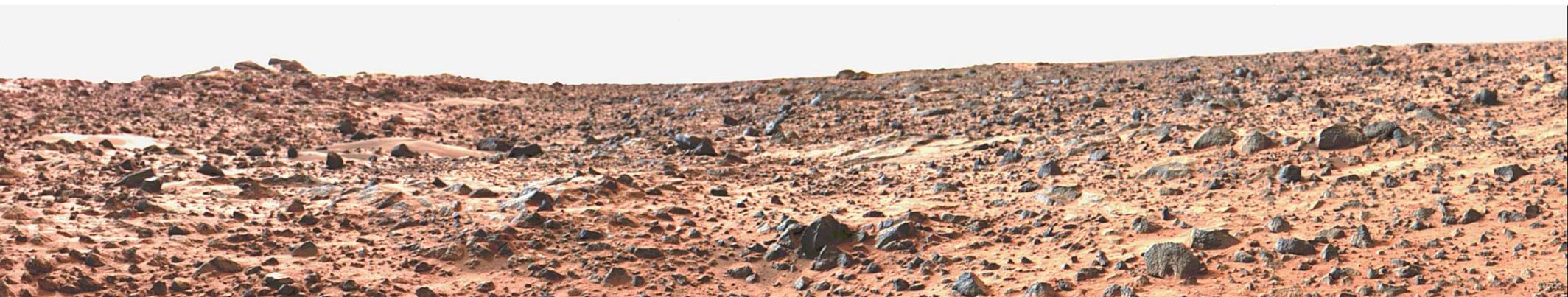






Nosso Sistema Solar...

- ✦ Vários locais no nosso Sistema Solar podem ter sido, ou ainda ser, favoráveis à vida.
 - ✦ Marte?
 - ✦ Io?
 - ✦ Europa?
 - ✦ Titã?



A exploração recente de Marte

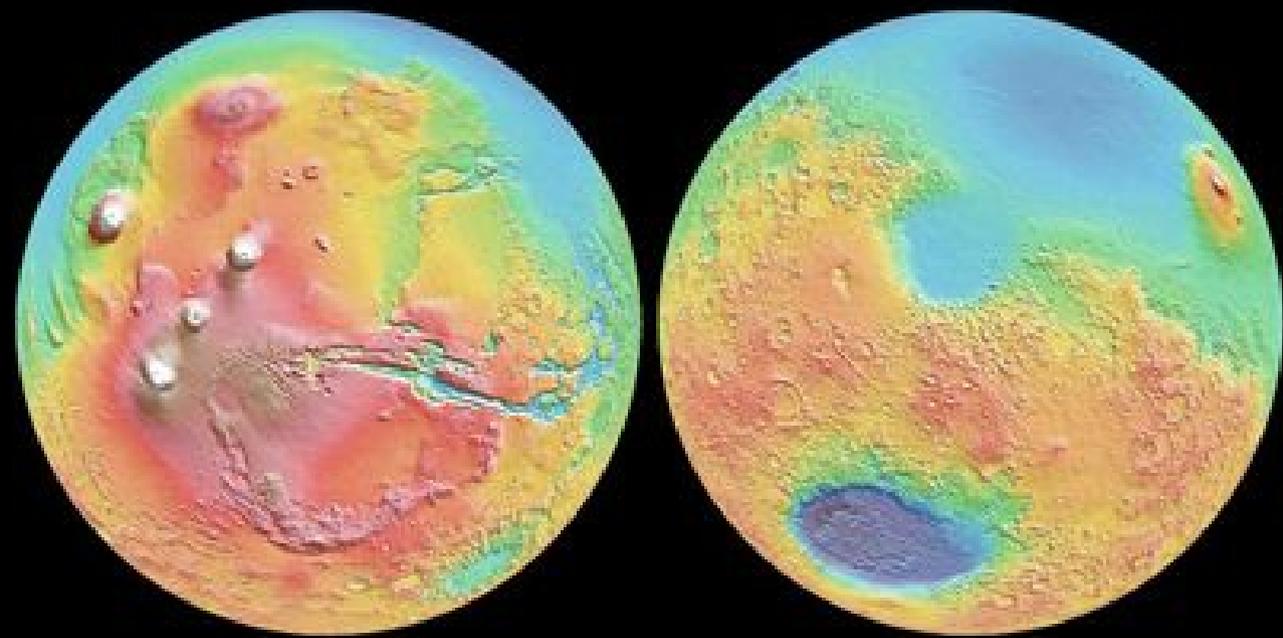
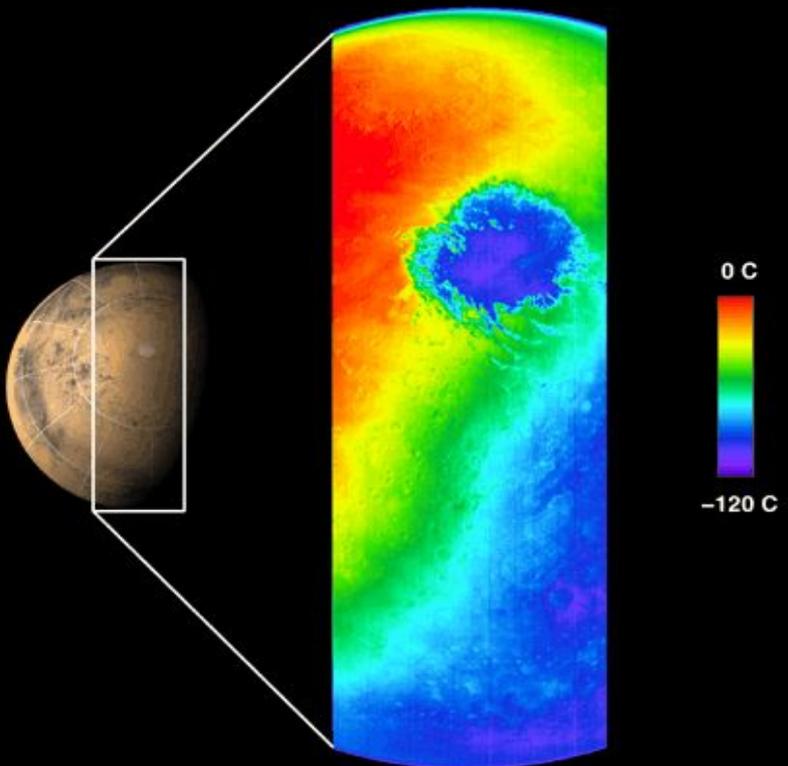
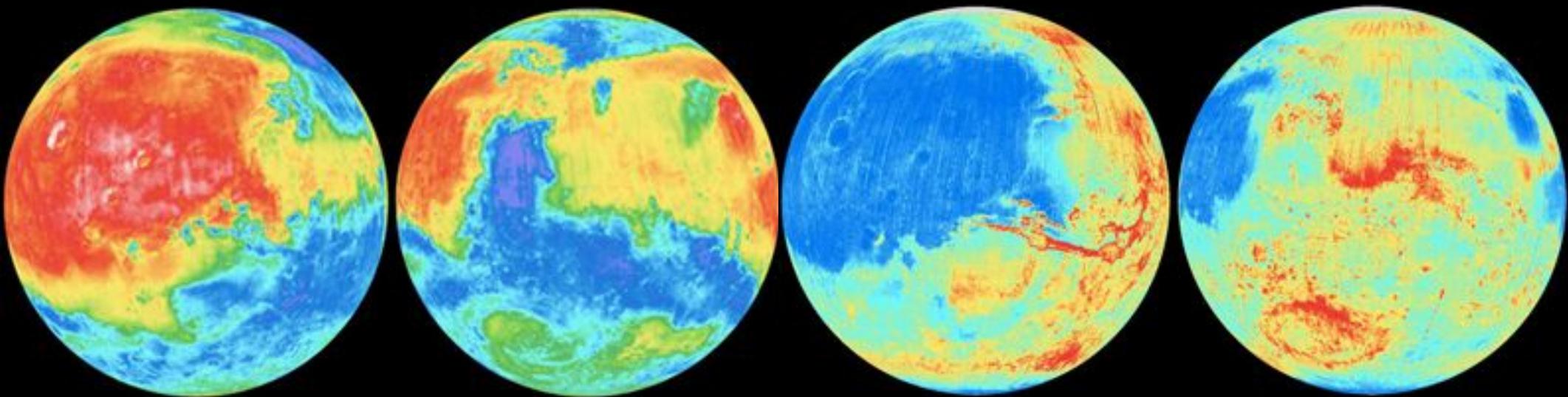


✦ NASA

- ✦ Mars Rovers: Spirit e Opportunity
- ✦ Mars Global Surveyor/Mars Pathfinder (Sojourner)

✦ ESA

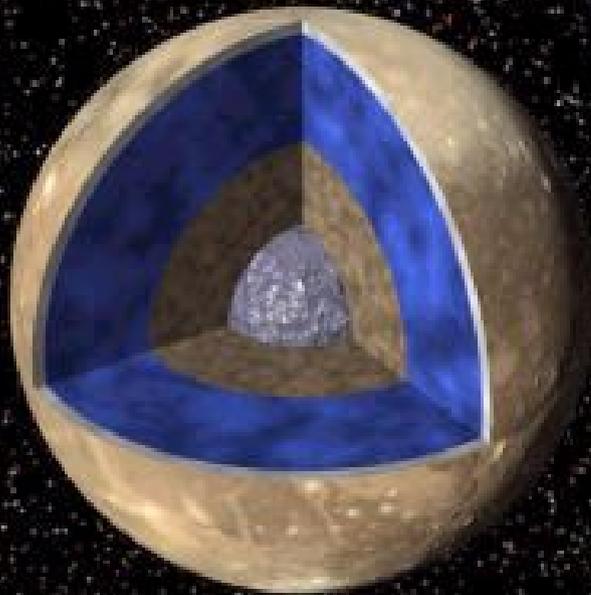
- ✦ Mars Express: Beagle 2



Io



Europa



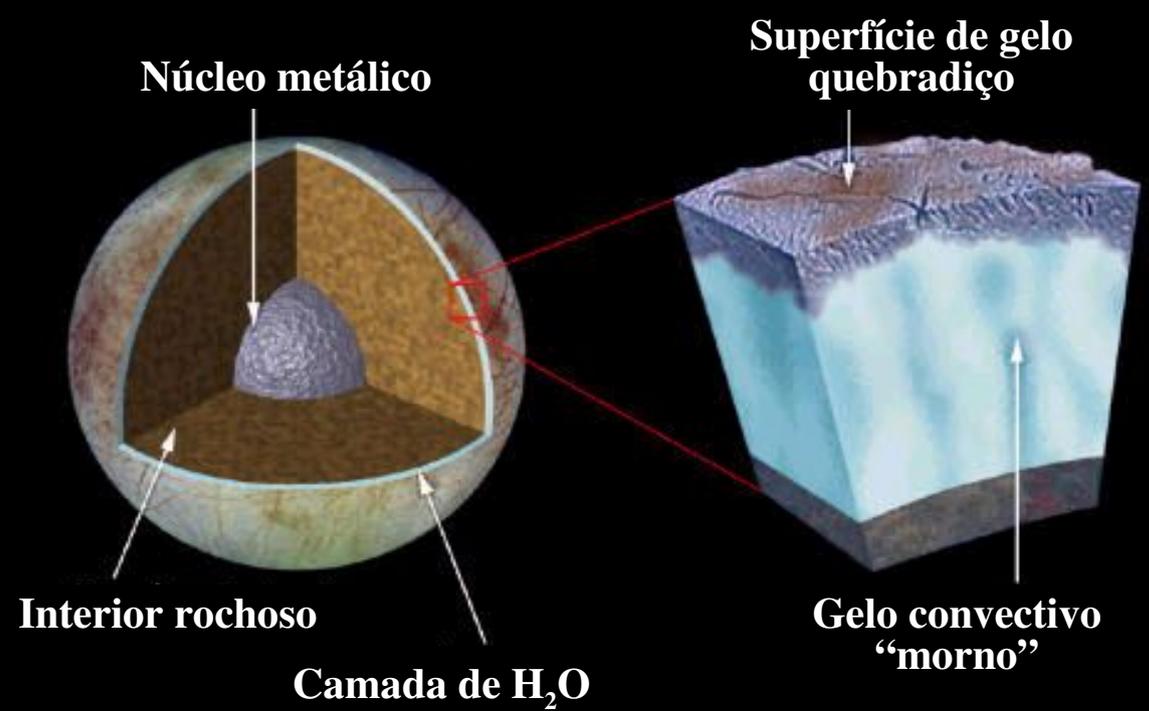
Ganymedes



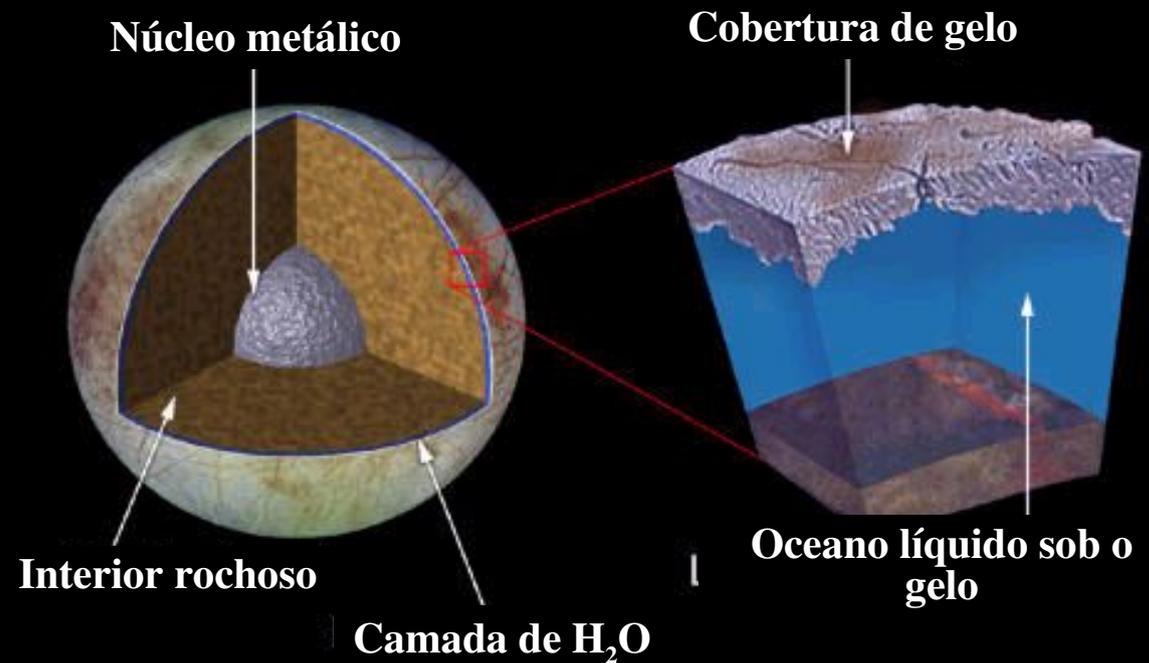
Callisto



Capa de gelo?

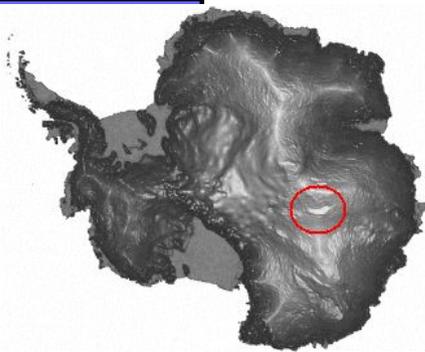


Ou um oceano?





The Subglacial Lake Vostok System



Vida em sistemas subglaciais

AIR

ice flow from Ridge B

Vostok Station

ICE SHEET

internal layers

inflow of subglacial meltwater and groundwater?

echo-free zone

pockets of subglacial meltwater and small subglacial lakes

subglacial deposits from glacial scouring, released by inflow of meltwater or basal melting of the ice sheet

420,000 year old ice



microbial life and biogenic material found in accreted ice: a) and b) bacteria, c) pollen, d) marine diatom, e) unknown

deformation of internal layers and accreted ice from moving over the side walls

220 m accreted ice

LAKE 670 m water depth

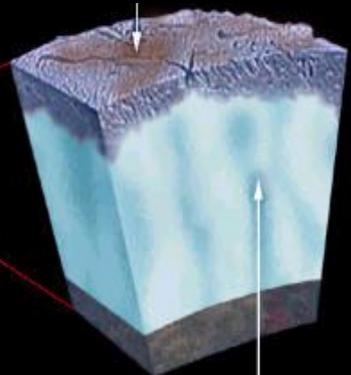
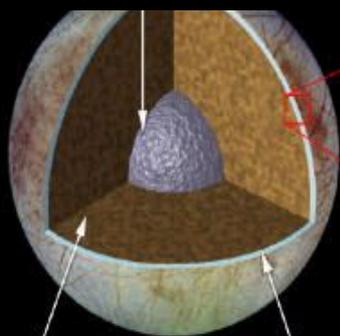
BEDROCK

preglacial limnetic sediments?

E
U
r
O
p
a

Núcleo metálico

Superfície de gelo quebradiço



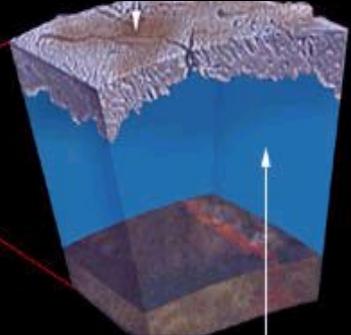
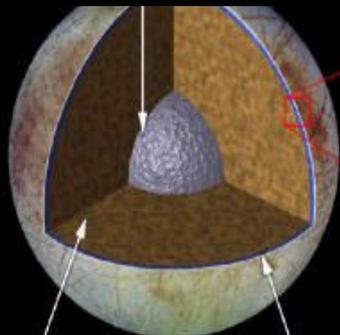
Interior rochoso

Camada de H₂O

Gelo convectivo "morno"

Núcleo metálico

Cobertura de gelo



Interior rochoso

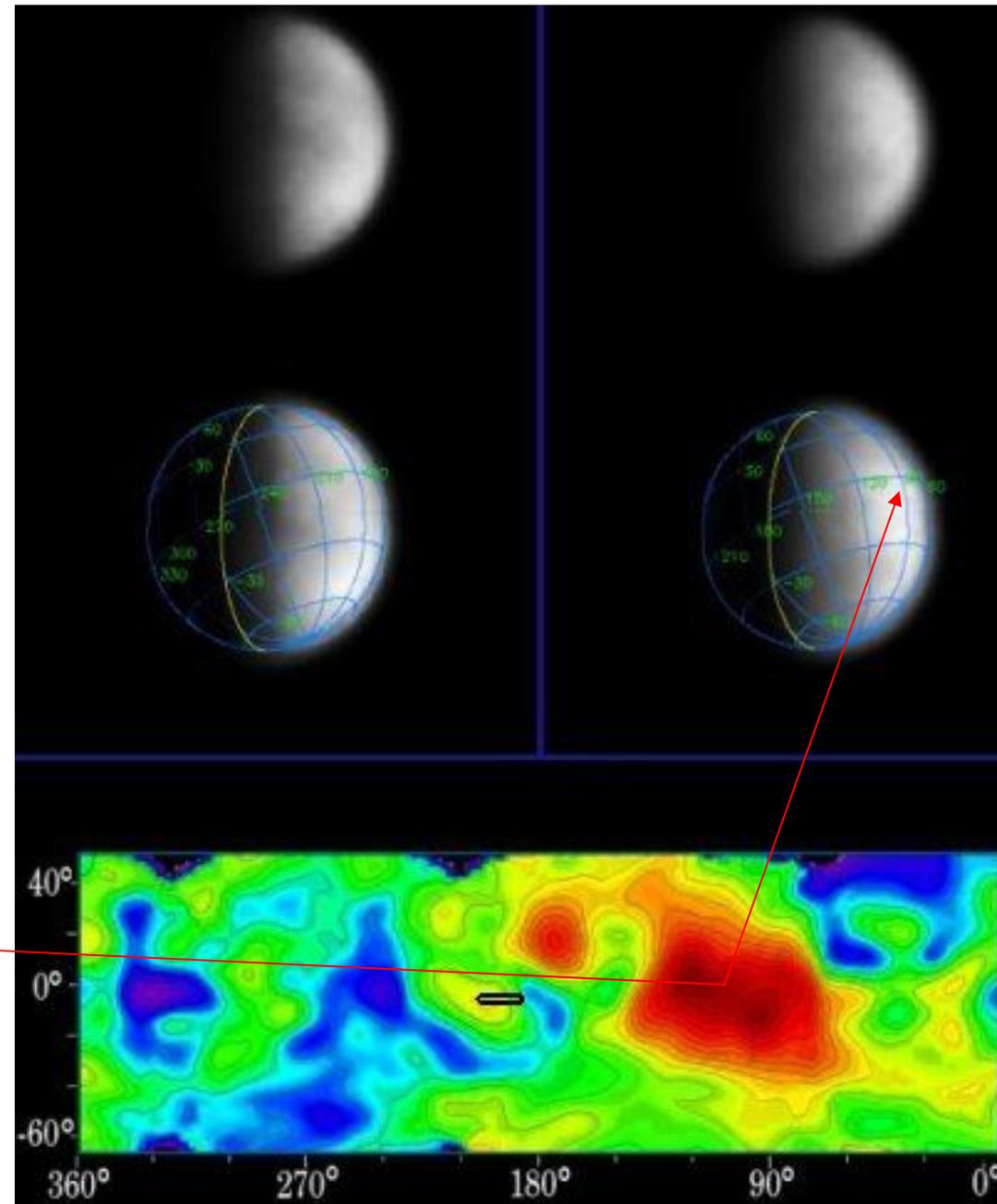
Camada de H₂O

Oceano líquido sob o gelo

Titã – A Lua de Saturno

- ⊕ Atmosfera composta principalmente de N, com CH₃, CH₄ e outros compostos.
- ⊕ Maior que a Lua e Mercúrio
- ⊕ Clima inóspito (T ~ -180° C)
- ⊕ Oceanos de CH₄?

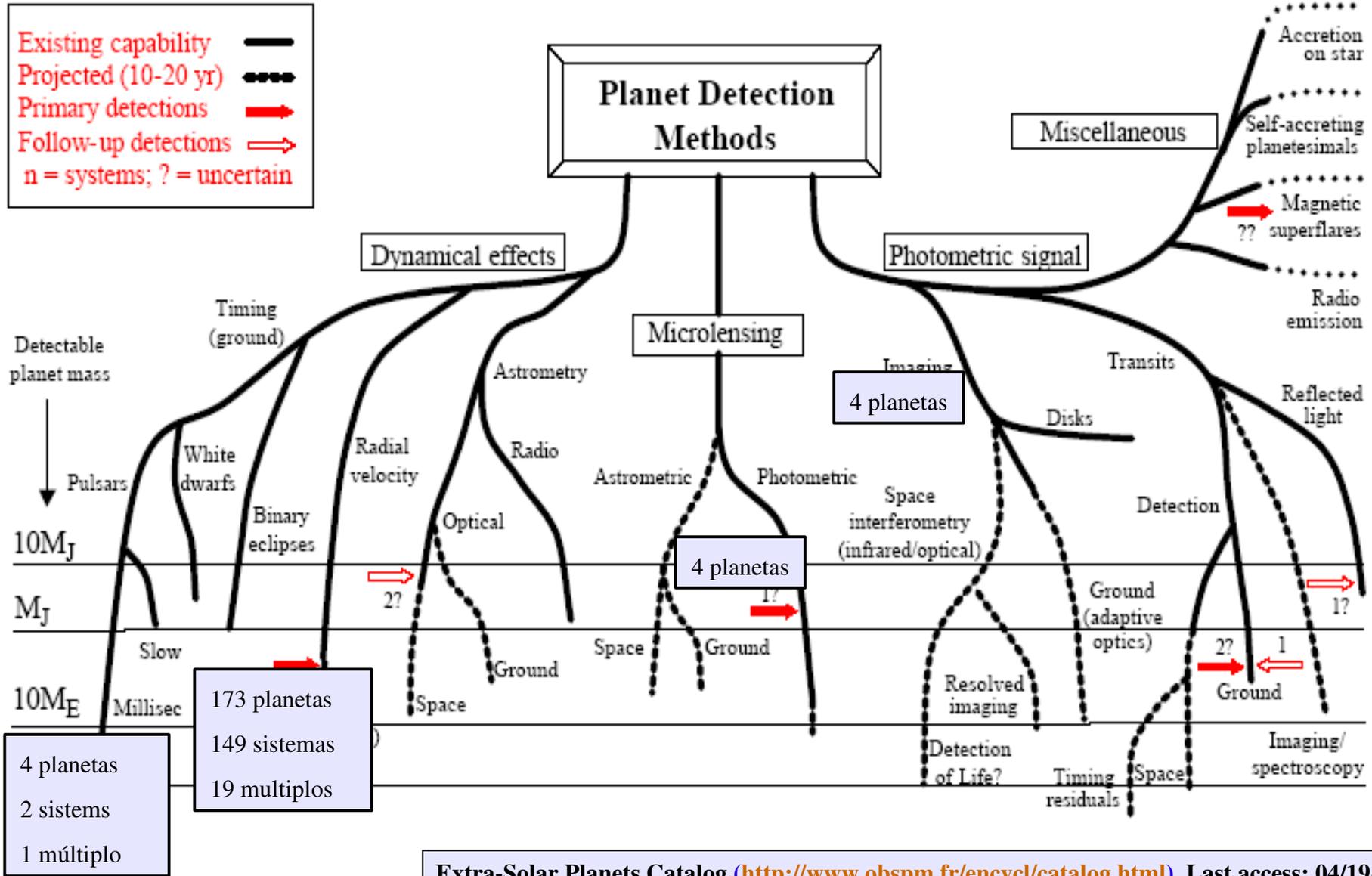
Variacão de brilho nas imagens de cima sugerem a existência de um “continente” em Titã



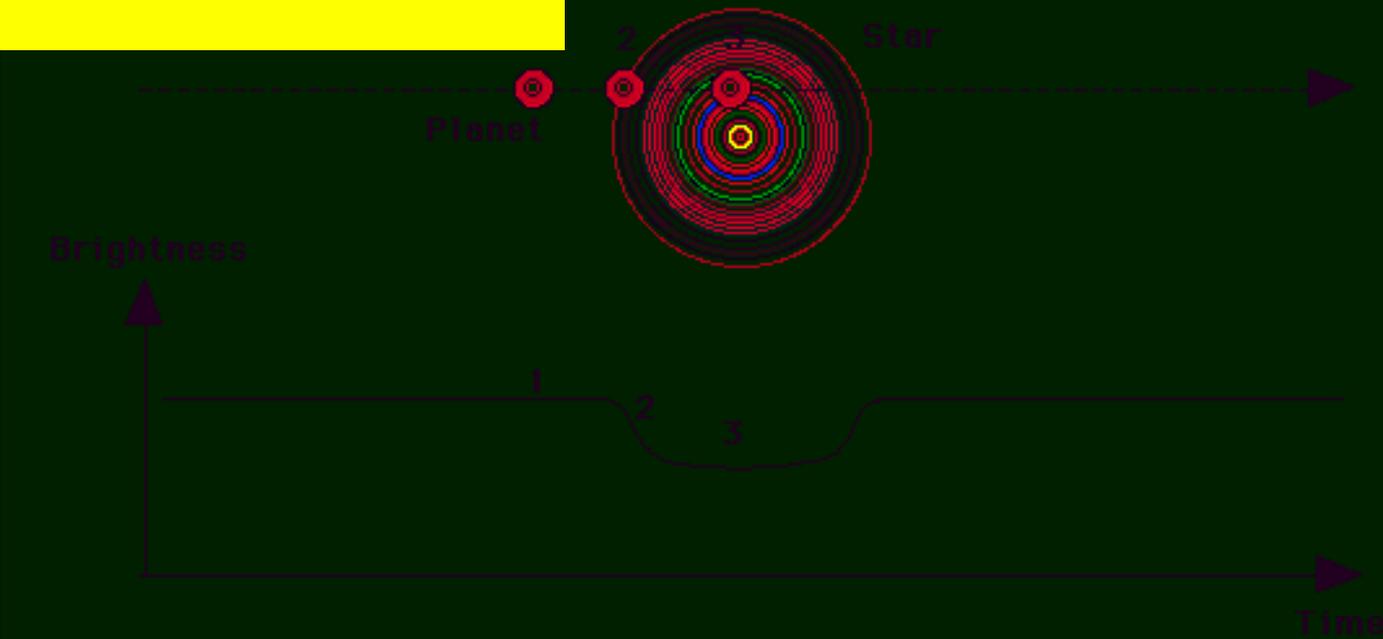
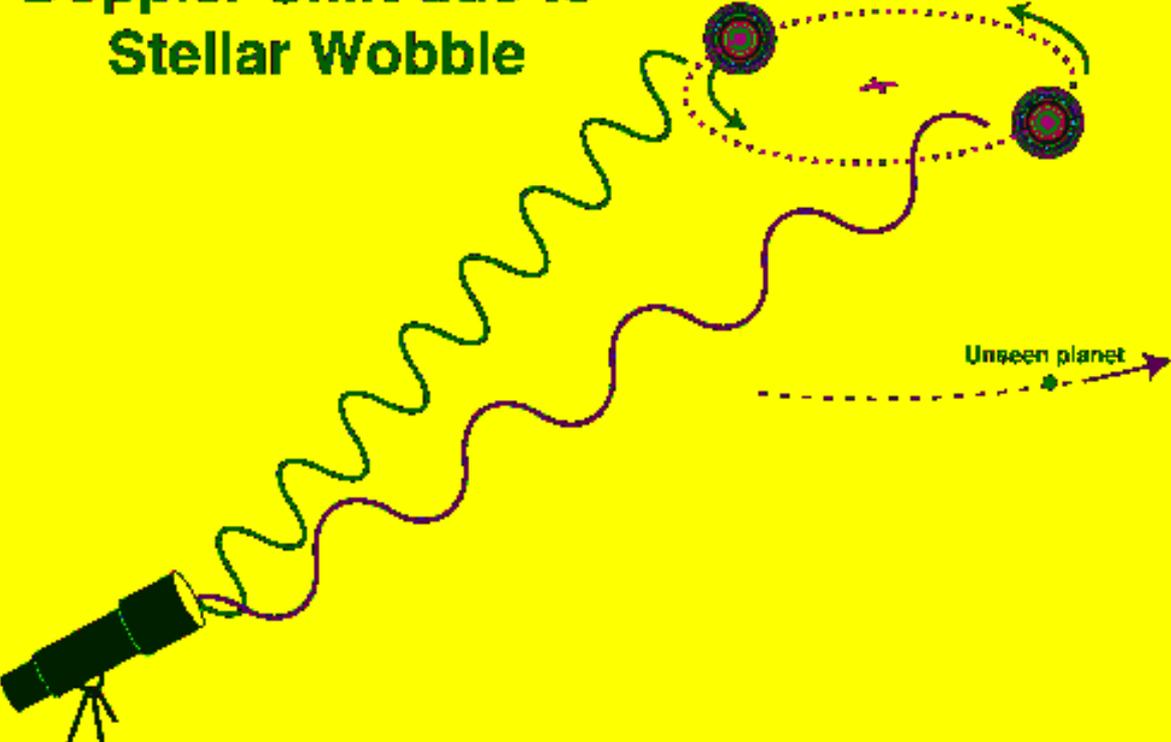
Planet Detection Methods

Michael Perryman, Rep. Prog. Phys., 2000, 63, 1209 (updated September 2003)

185 planetas
151 sistemas planetários
19 sistemas com múltiplos planetas



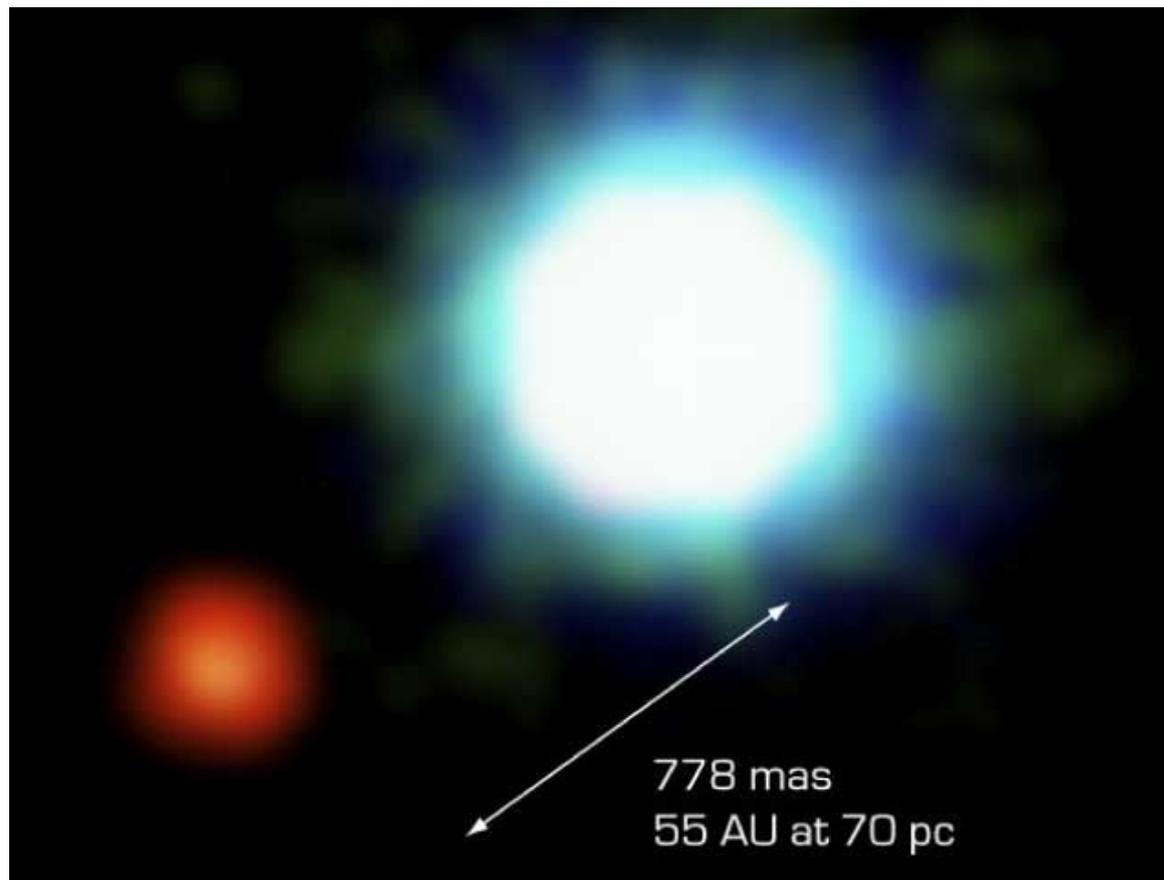
Doppler Shift due to Stellar Wobble





Primeira observação direta de um planeta extra-solar (Sistema 2M1207)

- Objeto branco: anã marrom
- Objeto vermelho: planeta com $5 M_J$



Fonte: <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050510.html>



Gliese 876 contém o 1o. Planeta extrasolar semelhante à Terra

- ☩ Gliese 876: estrela anã
- ☩ Tipo espectral: M
- ☩ T_{sup} : ~ 200 C
- ☩ Massa: $5,9 M_{\text{terra}}$
- ☩ Translação: 1,94 dias
- ☩ Distância de Gliese: 0,021 U.A (3,2 milhões de km)
- ☩ Terceiro planeta encontrado em torno de Gliese 876; os outros dois são planetas do tipo Júpiter
- ☩ Distância: cerca de 15 anos luz e visível com binóculos na constelação de Aquarius
- ☩ Observação: Telescópio Keck (<http://www2.keck.hawaii.edu>)

Gliese 876

Planetas tipo Júpiter

Gliese 876



Vista do planeta tipo terrestre a partir de uma hipotética lua de um dos planetas semelhantes a Júpiter

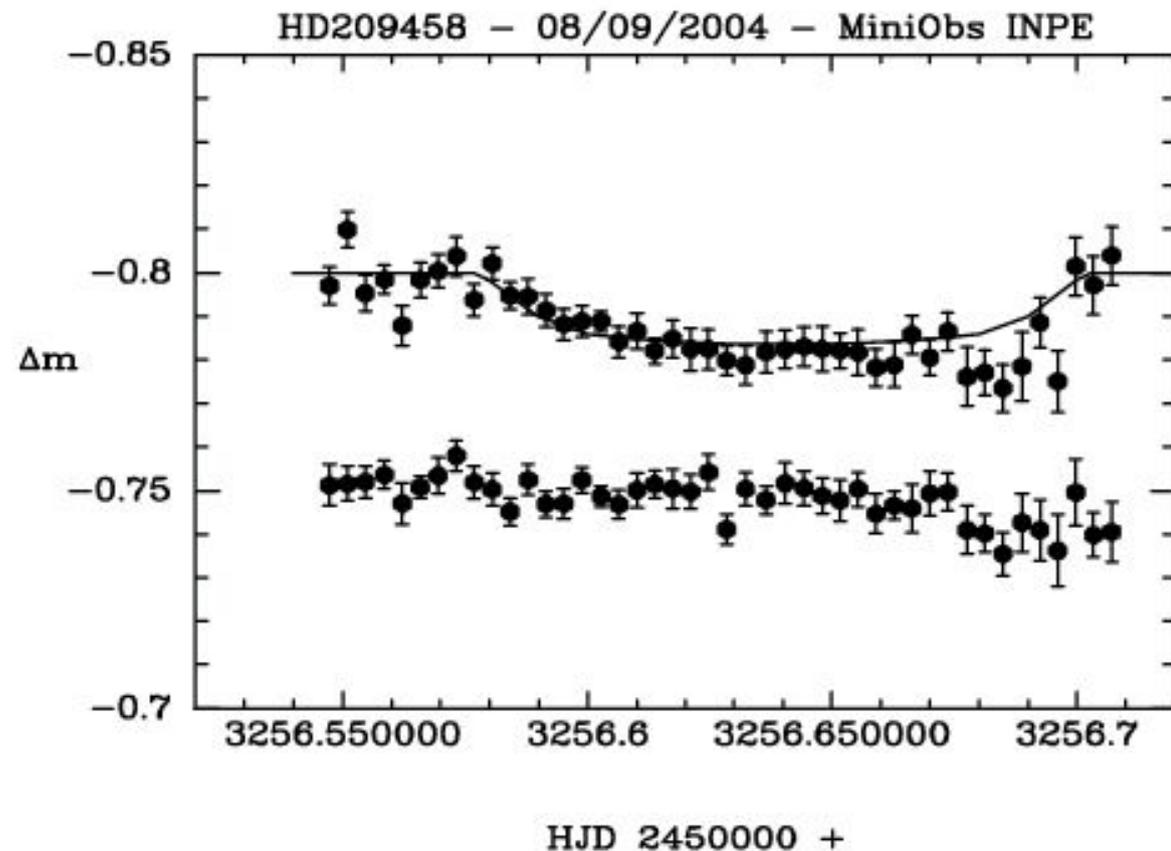
© 2005 Lynette Cook



Trânsito de planetas extrasolares

Observação do trânsito do planeta que circunda a estrela HD209458 a cada 3,5 dias (Eder Martioli e Julio C. Galvez), usando o telescópio de 28 cm do Miniobservatório do INPE

- ☉ Método: fotometria diferencial
- ☉ Variação na intensidade: $< 2\%$
- ☉ Data: 07-08/09/2004
- ☉ Duração: 2h30



<http://www.das.inpe.br/miniobservatorio/projetos/transito.htm>

O satélite COROT



✦ Objetivos do COROT

Participação brasileira em ordem alfabética:
(INPE, LNA, ON, UFMG, UFRGS, UFRJ, UFRN,
UFSC, U. Mackenzie, USP)

- ✦ Detecção de planetas orbitando em torno de estrelas, por meio de medidas na flutuação da intensidade da luz.



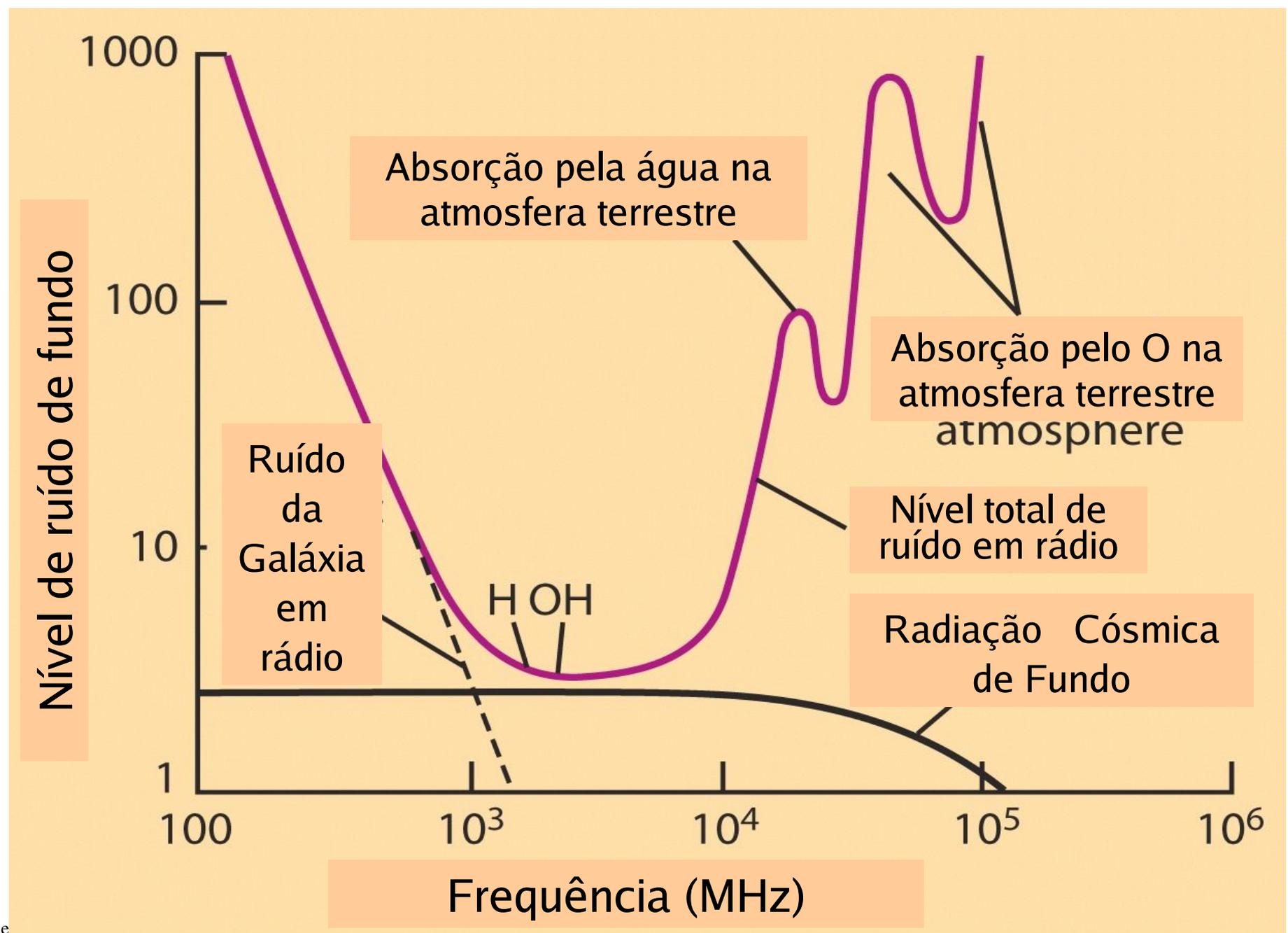
SETI

(Search for Extraterrestrial Intelligence)

- ⊕ Recepção de sinais de rádio (~ 1 a 3 GHz)
 - ⊞ A Terra vem emitindo em radio frequências durante a maior parte do séc. XX
 - ⊞ A Terra emite mais intensamente que o Sol em radio frequências.
 - ⊞ A faixa de comprimentos de onda entre 18–21 cm é boa para comunicação interestelar
- ⊕ O conceito do programa SETI data do início da década de 60 e continua ativo!
 - ⊞ Postura atual: ouvintes ativos, emissores passivos.



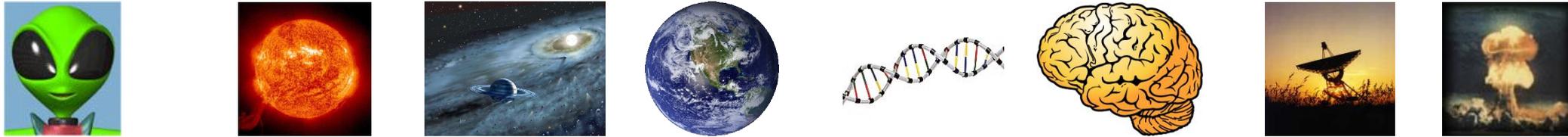
A janela da água...





Equação de Drake

Frank Drake



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

de civilizações avançadas que podemos contactar

Taxa de formação de estrelas semelhantes ao Sol

Fração de estrelas com planetas

de planetas do tipo terrestre por sistema

Fração que desenvolve vida

Fração que se comunica

Fração que desenvolve vida inteligente

Tempo de vida de civilizações avançadas

10

~ 1 por ano

~ 1

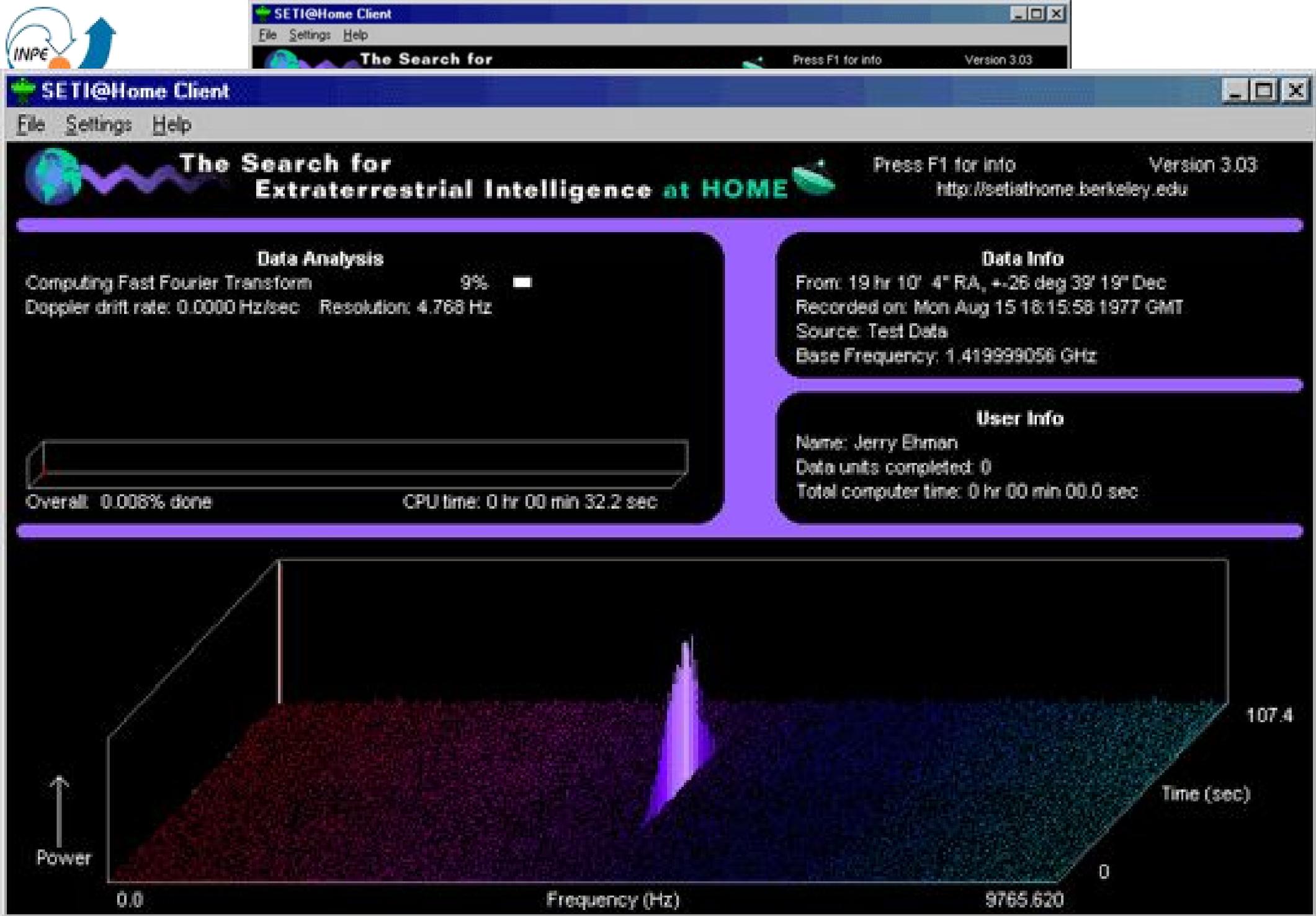
~0.1?

~1??

~1???

~1??!

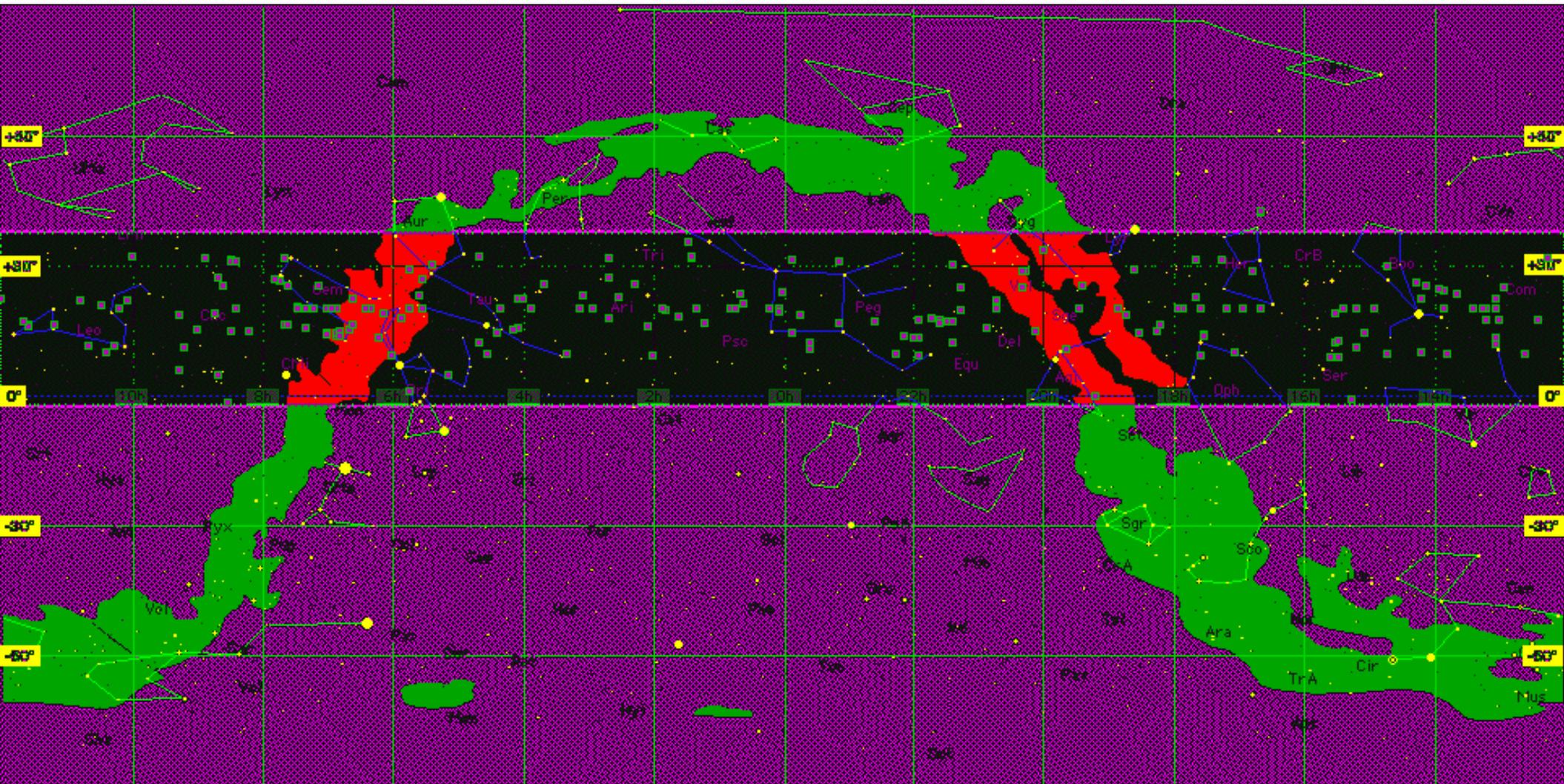
100 anos?



Um mapa do céu dos candidatos mais promissores do SETI@home's

Áreas azuis delimitam o plano da Via Láctea.

Quadrados amarelos marcam a posição dos candidatos mais promissores.





Resultados dos programas SETI...

- ❖ Tecnicamente, é possível detectar sinais equivalentes a:
 - ❑ Potência de uma emissora de TV a um a.l.,
 - ❑ Potência radares militares a 300 a.l.
 - ❑ Potência do radar planetário de Arecibo a 3000 a.l.
- ❖ Poucos objetos observados dentro do volume definido acima.
- ❖ Baixa sensibilidade dos instrumentos atuais impede qualquer conclusão séria sobre o assunto. Melhoria necessária $> 10^5$
- ❖ Pesquisa na literatura: nenhum resultado significativo, desde a década de 60 (99 projetos científicos)
- ❖ Resultados do **SETI@home**: cerca de 2600 “candidatos finais”, com 1σ de significância, submetidos a reanálise



Principais resultados até o momento...

- ✦ Os elementos e condições básicas para a formação da vida **como a conhecemos** estão espalhados pelo Universo.
- ✦ O oxigênio é essencial para a formação de vida complexa, **como a conhecemos**.
- ✦ A água no estado líquido foi essencial no aparecimento da vida microscópica, **como a conhecemos**, e sua evolução.
- ✦ Foram encontrados até hoje 185 planetas extra-solares desde 1995 e o primeiro de tamanho comparável à Terra (2005).
- ✦ Instrumentos melhores para procurar por planetas extra-solares semelhantes à Terra estão sendo construídos.
- ✦ A busca de **sinais extraterrestres inteligentes** ainda não apresentou, depois de mais de 40 anos, nenhum resultado positivo confirmado.



Ainda não sabemos se..



- ❖ a origem da vida é um acidente ou um mecanismo comum.
- ❖ há relação entre vida complexa e inteligência.

Algumas opiniões **com base nas evidências atuais:**

- ❖ Se a origem da vida é somente um acaso, então estamos, provavelmente, sós no Universo, *mesmo que planetas “terrestres” sejam comuns*
- ❖ Mesmo que a origem da vida seja um mecanismo universal e que planetas terrestres sejam comuns, *vida complexa deve ser incomum (e inteligência, ainda mais incomum!).*



Algumas perspectivas...

- ⊕ O estudo de extremófilos é essencial para entender as condições extremas em que a vida, como a conhecemos, é capaz de sobreviver.
- ⊕ Também é essencial conhecermos formas de vida diferentes na Terra para termos mais exemplos para identificá-la, caso a encontremos **fora da Terra**.
- ⊕ Radiotelescópios, satélites, e missões espaciais continuarão procurando evidências de bio-traçadores nos planetas e satélites do Sistema Solar
- ⊕ Idem, para planetas extra-solares e sinais de vida inteligente em estrelas próximas.
- ⊕ A “química do Silício”, ligada ao aparecimento de computadores inteligentes, pode originar uma forma de “vida artificial”.
- ⊕ Podemos imaginar a existência de vida inteligente baseada em outros processos? Energeticamente difícil...

A questão da procura de inteligência extraterrestre não deve centrar-se na probabilidade da vida em si, mas na probabilidade de, uma vez criada, ela possa sobreviver e evoluir, dominando o meio ambiente...

(Norman Pace, Universidade da Califórnia, Berkeley)



Referências básicas

☛ Livros

- ☛ C. Sagan. O mundo assombrado pelos demônios, Companhia das Letras, 1996.
- ☛ O. T. Matsuura. *Vida Extraterrestre*, Ed. Relume Dumará, 2000
- ☛ S.R. Matioli (Ed.). *Biologia Molecular e evolução*, Ed. Holos, 2001.
- ☛ P. Ward e D. Brownlee. *Terra Rara*, Ed. Campus, 2001.
- ☛ L. Margulis e D. Sagan. *Microcosmos*, Ed. Cultrix, 2002.



Referências básicas

☛ Artigos

- ☛ 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
- ☛ P. Schneider. *Strategies to search for life in the Universe*. Preprint eletrônico (<http://xxx.lanl.gov/abs/9604131>)



Referências básicas

Internet

- ❏ Site do prof. Augusto Daminelli (USP): Vida no Universo.
<http://www.astro.iag.usp.br/~daminielli/univida>
- ❏ Livro de astronomia online na UFRGS: <http://astro.if.ufrgs.br/vida/index.htm>
- ❏ Palestras do I Brazilian Workshop on Astrobiology.
<http://www.das.inpe.br/astrobio>
- ❏ Texto na Wikipedia:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Astrobiologia>
- ❏ Centro de Astrobiologia da NASA: <http://astrobiology.arc.nasa.gov/>
- ❏ Nasa Astrobiology Institute: <http://nai.nasa.gov>
- ❏ The Astrobiology Web: <http://www.astrobiology.com>

