

Astrobiologia

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz,
Ana Villaescusa, Madelaine Rojas**

União Astronómica Internacional, Technical University of Catalonia (Espanha),
ITeDA and National Technological University (Argentina), Agrupamento de
Escolas João de Deus (Portugal), Heidelberg Astronomy House (Alemanha),
Diverciencia in Algeciras (Espanha), SENACYT (Panamá)

Sumário

Este workshop está essencialmente dividido em duas partes. Os elementos necessários para a vida, um estudo simples da tabela periódica correspondente aos objetivos deste trabalho e a introduzidos de alguns conceitos de astrobiologia.

Objetivos

- Entender como surgem os diferentes elementos da tabela periódica.
- Compreender as principais características dos sistemas planetários extrassolares.
- Compreender as condições de habitabilidade necessárias para o desenvolvimento de vida.
- Estudar as diretrizes mínimas da vida fora da Terra.

Formação de sistemas planetários

Quando se forma uma estrela, a partir de uma nuvem de gás e poeira, os restos da nuvem ao redor da estrela continuam a formar os planetas. Da mesma maneira que podemos conhecer a composição da estrela estudando o seu espectro, a espectroscopia é usada para determinar a atmosfera dos exoplanetas.

Cada elemento químico e cada molécula têm um espectro específico e único. Em alguns sistemas, um determinado planeta passará à frente da sua estrela. A luz da estrela passará pela atmosfera do planeta e ocorrerá absorção. Observando os espectros de luz das estrelas dos sistemas exoplanetários, é possível descobrir a composição química das atmosferas dos planetas (figuras 1 e 2).

Mas vamos ver um exemplo de formação de sistema planetário usando um método para envolver os participantes num modelo ativo.

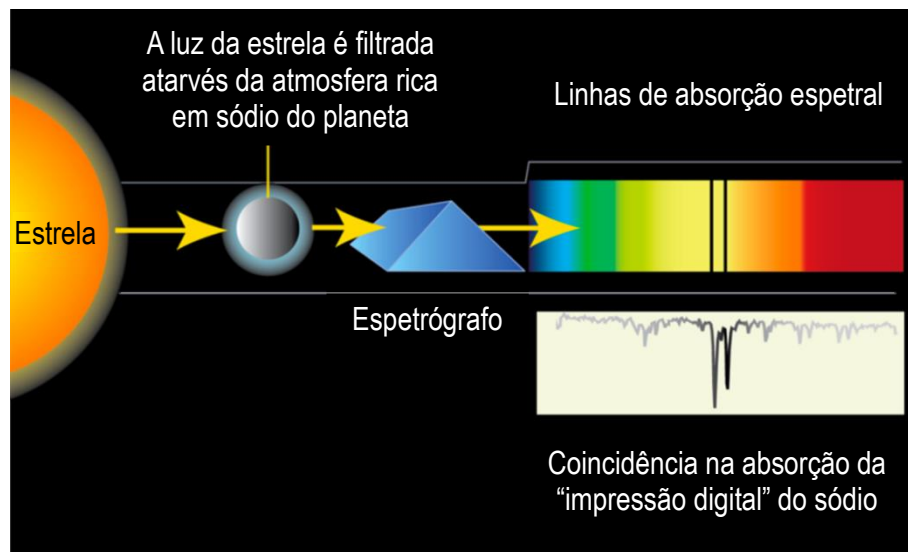


Fig. 1: Espectroscopia aplicada ao estudo da atmosfera do planeta HD 209458b, com a detecção de sódio na atmosfera. Fonte Wikipédia / A. Feild (STSci).

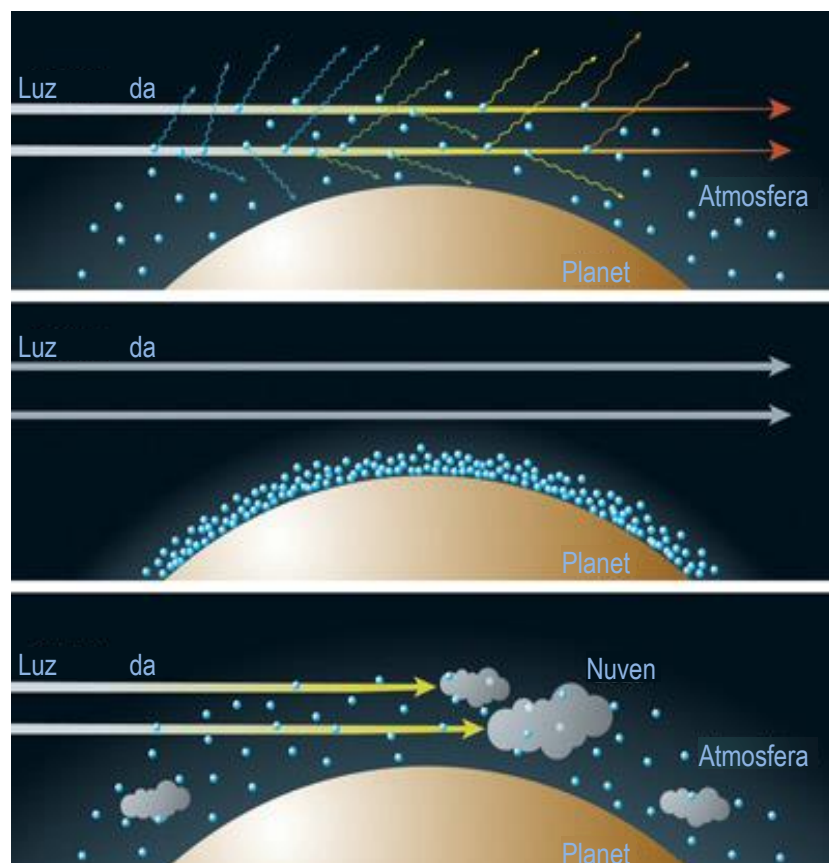


Fig 2: Como sabemos se há água, ou mesmo moléculas orgânicas, na atmosfera de um planeta? Cada elemento químico, e cada molécula, tem um espectro específico e único. Comparando os espectros de luz das estrelas dos sistemas exoplanetários que, eventualmente, passam pela atmosfera de um dos seus exoplanetas, pode-se descobrir a composição química da atmosfera deste último.

Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

O tema desta atividade é explicar a formação do Sistema Solar ou de qualquer sistema planetário, de acordo com a Hipótese Nebular de Immanuel Kant (1755).

A ação consiste em dividir a turma em dois grupos que sejam fáceis de identificar a olho nu. Por exemplo: o grupo de meninas e o grupo de meninos. (Podem ser adotados outros critérios, mas esse é geralmente o mais simples). Cada grupo tem um papel, as meninas podem ser o gás e os meninos a poeira (ou vice-versa). Se houver uma diferença substancial no número de participantes de um grupo e de outro, recomenda-se que o grupo que representa o gás seja o que contém o maior número de participantes, já que num sistema planetário, durante a formação, a massa do gás é 100 vezes a massa de poeira.

À medida que os participantes ouvem a história, eles reagem dinamicamente ao que ouvem, por exemplo:

Texto do relato:	Atuação dos participantes:
Havia uma vez uma nuvem de muito gás e um pouco menos de poeira.	Todos estão misturados numa nuvem. Há maior quantidade de participantes que representam o gás. Na nuvem, todos os participantes dão as mãos, de forma aleatória, formando como que uma rede.
Então, o gás começa a juntar-se no centro da nuvem e em seu redor a poeira.	Começam a separar-se. Os participantes que representam o gás acumulam-se no centro e os que representam a poeira agarram as mãos em redor dos outros.
Havia muito movimento, as partículas de gás atraíam gás e as partículas de poeira atraíam poeira.	Começam a rodar, mover, chocar, vibrar, saltar. Alguns saem disparados como resultado de tanto movimento e outros “resgatam”, pegam, “abraçam” aquelas partículas juntando-se por identificação (gás com gás e poeira com poeira).
No centro forma-se um núcleo opaco e denso rodeado por um disco de poeira e gás.	Os do centro (gás) agrupam e os participantes em seu redor, que representam a poeira, dão as mãos numa espécie de círculo. Esclarecimento: nem todo o gás está no centro, há gás disperso fora do círculo.
Este núcleo é o que finalmente dará origem ao Sol ou à estrela anfitriã de um sistema extrassolar.	O Sol, ou a estrela anfitriã, começa a brilhar pelo que os seus raios devem sair disparados em todas as direções. Esclarecimento: quando o Sol, ou a estrela anfitriã, começa a brilhar o gás “solto” começa a afastar-se.
Alguns planetas pequenos formam-se por união de grãos de poeira, cada vez maiores, depois rochas, até que se formam planetas terrestres.	Começam a agrupar-se participantes que representam a poeira que formará os planetas terrestres. Esclarecimento: nem toda a poeira fica nos planetas terrestres, deve haver alguma poeira nas regiões mais afastadas.
Os planetas gigantes formam-se longe do calor do Sol, ou da estrela anfitriã, onde o gás pôde reunir-se sem inconvenientes.	O resto, os planetas gigantes, começam a formar-se: muito gás e alguma poeira. Esclarecimento: a diminuição da temperatura, provocada pela maior distância ao Sol, ou à estrela anfitriã, foi a causa das principais diferenças entre os planetas rochosos internos e os gigantes externos.

Tabela 1: A história para explicar a formação de um sistema planetário.



Fig. 3: Todos estão misturados numa nuvem. Há mais participantes representando gás. Na nuvem, todos os participantes dão as mãos aleatoriamente, formando uma rede.



Fig. 4: Eles começam a separar-se. Os participantes que representam o gás acumulam-se no centro e os que representam poeira dão as mãos um ao outro.



Fig. 5: Os participantes que representam a poeira que forma os planetas terrestres começam a agrupar-se.



Fig. 6: O resto, os planetas gigantes, começam-se a unir: muito gás e um pouco de poeira.

Aspetos químicos da evolução estelar

Essa Tabela Periódica permite-nos perceber que os elementos de que somos feitos foram criados na evolução das estrelas.

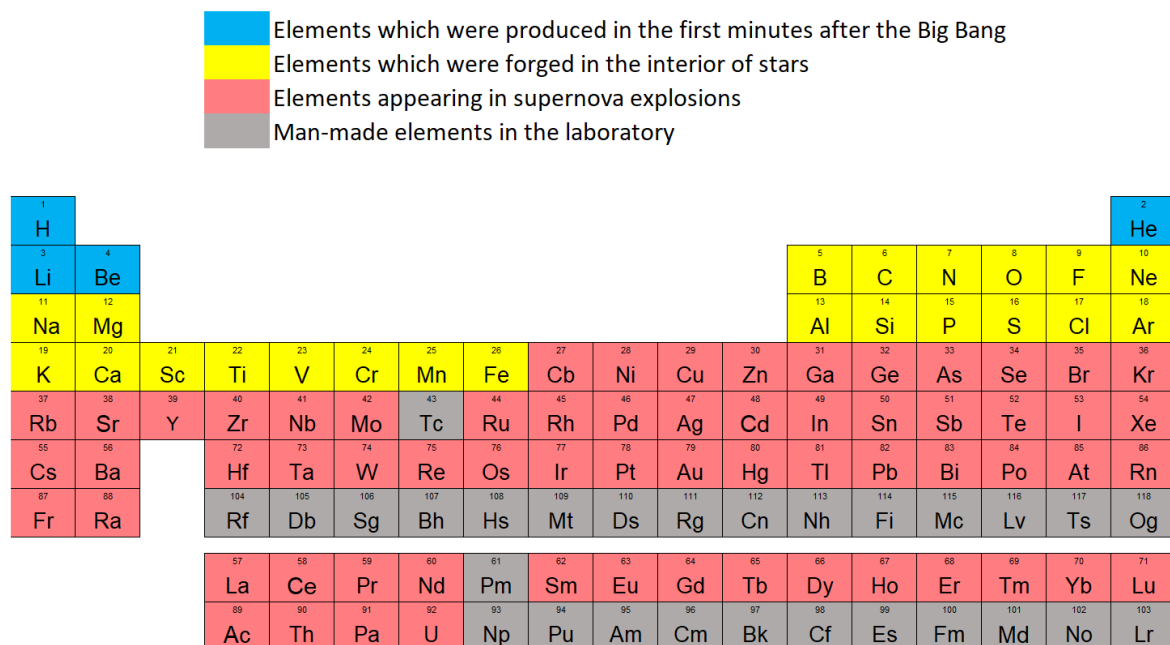


Fig. 7: A Tabela Periódica do ponto de vista da evolução estelar.

Na Tabela Periódica (figura 7), os diferentes elementos são classificados de acordo com:

- 1) Elementos criados nos primeiros minutos após o *Big Bang*. Inicialmente, o Universo era essencialmente composto pelo átomo mais simples: o átomo de hidrogénio. Pouco tempo depois, isso deu origem a elementos um pouco mais elaborados, como hélio, lítio e berílio.
- 2) Os elementos que são formados nos núcleos das estrelas, por nucleossíntese, já são um pouco mais pesados, como boro, carbono, nitrogénio, oxigénio, flúor, néon, sódio, magnésio, alumínio, silício, fósforo, enxofre, cloro, árgon, potássio, cálcio, escândio, titânio, vanádio, cromo, manganês e ferro.
- 3) Os elementos mais pesados, que se formam nas grandes explosões de supernovas, compõem o restante da tabela. Alguns deles são instáveis mas podem ser produzidos em laboratórios.
- 4) Elementos sintéticos produzidos pelo homem em laboratório e não encontrados na natureza.

Atividade 2: Classificação dos elementos da Tabela Periódica

Abaixo está uma lista de objetos que deverão ser classificados de acordo com os três níveis, ou em três cestas:

1. Elementos produzidos nos primeiros minutos após o *Big Bang* (cesta azul).

2. Elementos produzidos dentro das estrelas (cesto amarelo).

3. Elementos que aparecem nas explosões de supernovas (cesta vermelha).

É necessário colocar em cada um dos três cestos (azul, amarelo e rosa) cada objeto da seguinte lista, de acordo com sua constituição:

Anel: Ouro Au	Broca revestida com: Titânio Ti	Gás de um balão de criança: Hélio He	Esfregão de panelas: Níquel Ni
Bateria: Lítio Li	Velas de ignição: Platina Pt	Fio elétrico de cobre: Cobre Cu	Solução de iodo: Iodo I
Garrafa de água H ₂ O: Hidrogénio H	Panela velha: Alumínio Al	Mina de lápis preto: Carbono C	Enxofre para agricultura: Enxofre S
Lata de refrigerante: Alumínio Al	Relógio de pulso: Titânio Ti	Medalha: Prata Ag	Canos velhos: Chumbo Pb
Lâmina de zinco: Zinco Zn	Prego velho enferrujado: Ferro Fe	Termómetro: Gálio Ga	Caixa de fósforos: Fósforo P

Tabela 2: Objetos para classificar.

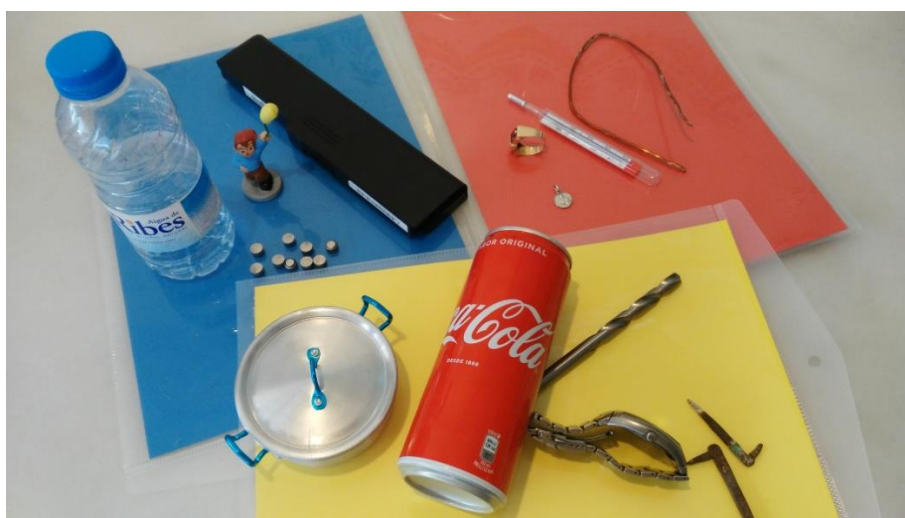


Fig. 8: Classificação correta. Na zona azul: bateria: lítio, garrafa de água H₂O: hidrogénio, gás no interior de um balão de criança: hélio. Na zona amarela: lata de refrigerante: alumínio, garrafa de água H₂O: oxigénio, broca revestida com: titânio, panela velha: alumínio, relógio de pulso: titânio, prego velho e enferrujado: ferro, minas de lápis preto: carbono, enxofre para agricultura: enxofre, caixa de fósforos: fósforo. Na zona vermelha: fio de cobre elétrico: cobre, velas de ignição: platina, anel: ouro, medalha: prata, termómetro: gálio, Lâmina de zinco: zinco, esfregão de panelas: níquel, solução de iodo: iodo, canos velhos, chumbo.

Atividade 3: Filhos das estrelas

Os elementos químicos considerados essenciais para a vida possuem as seguintes características:

- Uma insuficiência do elemento causa deficiências funcionais (reversíveis quando estiver novamente nas concentrações apropriadas).
- Quando o organismo tem falta desse elemento ele não cresce ou não completa o seu ciclo de vida.
- O elemento influencia diretamente o organismo e está envolvido nos seus processos metabólicos.
- O efeito deste elemento não pode ser substituído por nenhum outro elemento.

Em baixo está a lista dos bioelementos presentes nos seres humanos, ordenados de acordo com a sua abundância.

- Elementos abundantes: oxigénio, carbono, hidrogénio, cálcio, fósforo, potássio, enxofre, sódio, cloro, ferro e magnésio.
- Oligoelementos: flúor, zinco, cobre, silício, vanádio, estanho, manganês, iodo, níquel, molibdênio, cromo e cobalto.

Nem todos os seres vivos têm as mesmas proporções de elementos essenciais. A Fig. 9 destaca os elementos essenciais e alguns que podem ser reconhecidos como tais: lítio, cádmio, arsénio e estanho.

Elementos abundantes				Elementos vestigiais								Elementos essenciais							
<u>H</u>																		He	
<u>Li</u>	Be													<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	Ne
<u>Na</u>	<u>Mg</u>											Al	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar		
<u>K</u>	<u>Ca</u>	Sc	Ti	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	Ga	Ge	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	<u>Mo</u>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	<u>Cd</u>	In	<u>Sn</u>	Sb	Te	<u>I</u>	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	<u>W</u>	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac																	

Fig. 9: Tabela Periódica dos elementos essenciais à vida.

Comparando a Tabela Periódica da figura 7 com a da figura 9, pode ver que todos os elementos principais (exceto o hidrogénio) foram produzidos dentro das estrelas. Sem os elementos mais pesados, criados pela evolução estelar, não poderíamos existir. Para os elementos que aparecem apenas como vestigiais, existem alguns que se formaram dentro de uma estrela e outros numa explosão de supernova. Contudo, a maioria surge das reações de síntese nuclear nos núcleos das estrelas: somos filhos das estrelas! Somos feitos de poeira estelar!!

Embora não seja o objetivo principal deste workshop, seria um bom exercício fazer uma Tabela Periódica atribuindo um objeto quotidiano a cada elemento e/ou uma experiência envolvendo esse elemento. Isso deve levar a uma melhor compreensão da Tabela Periódica pelos alunos.

O Sol não é uma estrela de primeira geração

As estrelas da primeira geração são essencialmente hidrogénio e hélio do *Big Bang* (e um pouco de hélio que eles mesmos geraram). As estrelas que contêm elementos mais pesados formaram-se a partir de uma nuvem inicial que continha os restos de explosões de supernovas. As explosões das supernovas criaram os elementos mais pesados, por fusão. Por exemplo, o espectro solar possui um conjunto distinto da linha espectral do sódio, o que sugere que, devido à sua pequena massa e estado de evolução, não pode ser uma estrela de primeira geração. O sódio não pode ter sido gerado pelo Sol. Além disso, nos planetas do Sistema Solar, são detetados uma infinidade de elementos que surgem após a explosão de uma supernova. É uma teoria razoável que o Sol se tenha formado a partir de uma nuvem inicial dos restos de pelo menos duas explosões de supernovas. Consequentemente, o Sol pode ser pensado como uma estrela de terceira geração.

Vejamos alguns exemplos de espectros mostrados abaixo: o espectro de uma estrela de primeira geração em que apenas as linhas dos elementos primitivos podem ser vistas (Fig. 10). O espectro solar com as linhas de sódio, já mencionadas, claramente visíveis (Fig. 12).

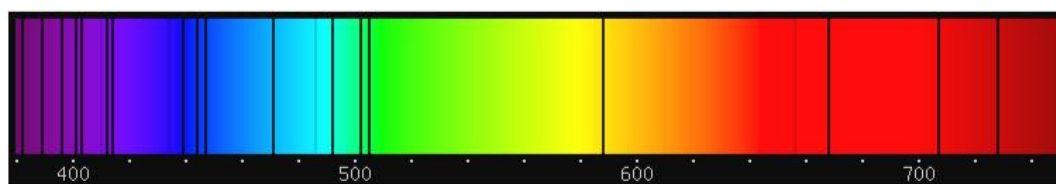


Fig. 10: Espectro de primeira geração (impressão artística). As estrelas da primeira geração são predominantemente dezenas ou centenas de vezes mais massivas que o Sol. Elas viveram rapidamente, morreram jovens e não sobreviveram até hoje. Só haveria linhas espectrais de hidrogénio, hélio e um pouco de lítio.

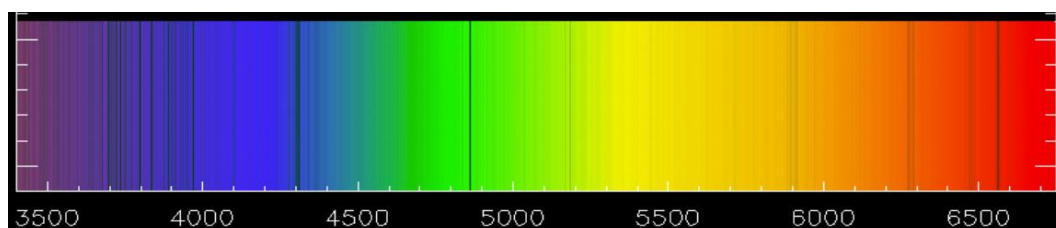


Fig. 11: Espectro da SMSS J031300.36-670839.3, uma estrela de segunda geração que mostra apenas linhas de hidrogénio e carbono.

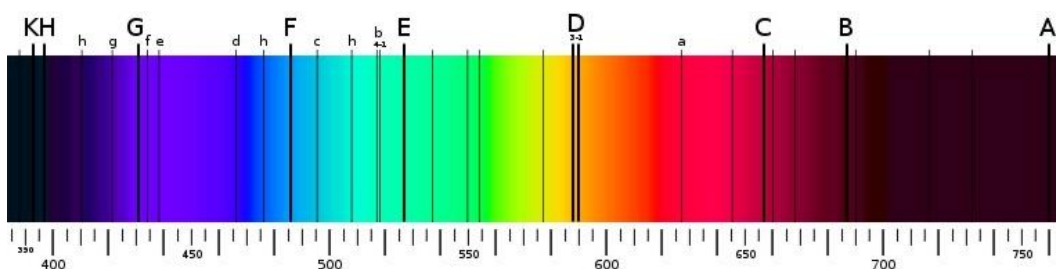


Fig. 12: Espectro do Sol. Com muitas linhas espectrais de vários elementos e entre eles sódio (marcado com letras em negrito).

Zona de habitabilidade

Quando falamos de vida, geralmente assume-se que essas são formas de vida baseadas em carbono e, portanto, é definido um critério central de habitabilidade, que é a presença de água líquida. A região em redor de uma estrela na qual o fluxo de radiação na superfície de qualquer planeta rochoso (ou satélite) permitiria a presença de água em estado líquido é chamada de zona de habitabilidade estelar. Geralmente ocorre em corpos de massa entre 0,5 e 10 M_t e uma pressão atmosférica superior a 6,1 mbar, correspondendo ao ponto triplo da água a uma temperatura de 273,16 K (quando a água coexiste na forma de gelo, líquido e vapor).

A zona de habitabilidade depende da massa da estrela. Se a massa de uma estrela aumenta, a sua temperatura e o seu brilho aumentam e, conseqüentemente, a zona de habitabilidade fica cada vez mais distante.

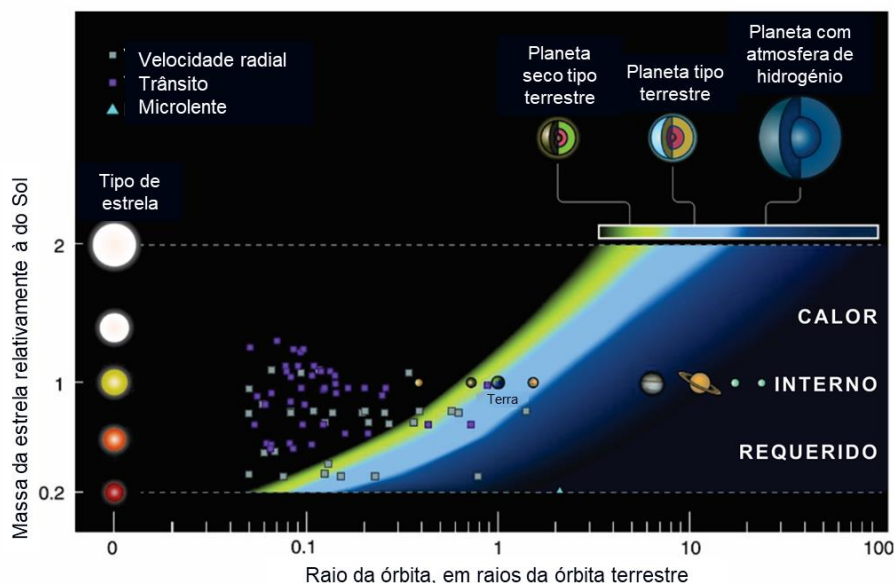


Fig 13: Zona de habitabilidade determinada pela estrela anfitriã.

O fato de um planeta estar na zona de habitabilidade não implica que deve haver vida. Por exemplo, no nosso Sistema Solar, a zona de habitabilidade inclui os planetas Terra e Marte, mas dos dois, o único em que a vida é conhecida é na Terra. A zona de habitabilidade para o Sistema Solar está entre 0,84 ua e 1,67 au. Vênus está em 0,7 ua, com um efeito estufa não controlado e, em vez disso, Marte está em 1,5 ua sem a existência de água superficial, mas poderia muito bem haver água congelada subterrânea.

Para além da existência de água líquida superficial, existem outras condições para a habitabilidade de um planeta. Vamos ver em detalhes os mais importantes:

- Uma distância orbital do planeta que o coloca na zona habitável é uma condição necessária, mas não suficiente, para que um planeta seja hospedeiro em relação à vida. Exemplo: Vênus e Marte.

- Um fator que influencia decisivamente a habitabilidade é a massa do planeta. Deve ser suficientemente grande para que sua gravidade seja capaz de reter a atmosfera. Essa é a principal razão pela qual Marte não é atualmente habitável, pois perdeu a maior parte da sua atmosfera e todas as águas superficiais que possuía nos seus primeiros bilhões de anos.

De qualquer forma, pode acontecer que, embora os planetas não estejam na zona de habitabilidade, os fatores necessários para a existência de algum tipo de vida podem existir, seja nos próprios planetas ou em algumas das suas luas. Pode ser o caso de algumas luas de Júpiter ou Saturno.

Astrobiologia preliminar: O processo de formação da atmosfera da Terra

O conhecimento da fotossíntese é essencial para entender as relações dos seres vivos e a atmosfera, e para entender o equilíbrio da vida na Terra, dado o profundo impacto que ela tem na atmosfera e no clima da Terra.

A fotossíntese é um processo físico-químico pelo qual plantas, algas e certas bactérias fotossintéticas usam a energia da luz solar para sintetizar compostos orgânicos. É um processo fundamental para a vida na Terra e tem um profundo impacto na atmosfera e no clima da Terra: todos os anos, organismos com capacidade fotossintética convertem mais de 10% do dióxido de carbono atmosférico em hidratos de carbono. Isso significa que o aumento na concentração de dióxido de carbono atmosférico gerado pela atividade humana tem um grande impacto na fotossíntese. Do ponto de vista evolutivo, o surgimento de oxigénio fotossintético (a que produz oxigénio) foi uma verdadeira revolução para a vida na Terra: mudou a atmosfera da Terra enriquecendo-a, fato que permitiu o surgimento de organismos que usam oxigénio para viver.

Oxigénio fotossintético	Fotossíntese sem oxigénio
$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2$	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- + \text{S}$

Fig. 14: Fotossíntese com e sem oxigénio.

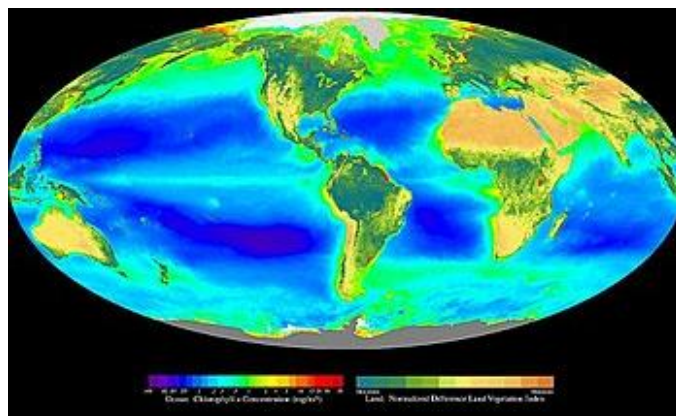


Fig. 15: Imagem mostrando a distribuição da fotossíntese no globo terrestre mostrando tanto a realizada pelo fitoplâncton oceânico como pela vegetação terrestre.

As coisas nem sempre foram como as conhecemos; a evolução da Terra, a evolução da atmosfera primitiva, a evolução dos metabolismos primitivos, constitui uma linha de eventos que leva a bactérias fototróficas que usam a luz como fonte de energia, mas libertam enxofre (chamado fotossíntese anoxigénica, pois não liberta oxigénio). Posteriormente surge na Terra a fotossíntese oxigenada. Ela liberta oxigénio para a atmosfera, aumentando a sua concentração e permitindo a grande explosão de vida que conhecemos agora. Pode-se dizer que a atmosfera primitiva do nosso planeta mal continha vestígios de oxigénio. Mas havia já vida antes. E há um consenso de que o ar que respiramos hoje, com 21% de oxigénio, é um produto da atividade biológica da Terra e muito diferente da atmosfera da Terra primitiva.

O processo de formação da matéria orgânica. Porque é que as plantas são verdes?

A fotossíntese consiste na conversão de matéria inorgânica em matéria orgânica, graças à energia fornecida pela luz. A vida no nosso planeta é mantida fundamentalmente graças à fotossíntese que as algas e algumas bactérias realizam no ambiente aquático e as plantas no ambiente terrestre, que têm a capacidade de sintetizar matéria orgânica (essencial para a constituição de seres vivos) a partir da luz e matéria inorgânica. De facto, todos os anos os organismos fotossintéticos fixam cerca de 100 biliões de toneladas de carbono na forma de matéria orgânica.

Os passos iniciais para converter energia luminosa em energia química dependem de moléculas chamadas pigmentos fotossintéticos. O termo 'pigmento' é usado para descrever uma molécula que tem a capacidade de captar energia de fótons (ganhando energia ou excitando o nível energético dos eletrões da sua estrutura atómica, ou seja, uma molécula que é "excitada pela luz"). Todos os pigmentos biológicos absorvem seletivamente certos comprimentos de onda da luz e refletem outros.

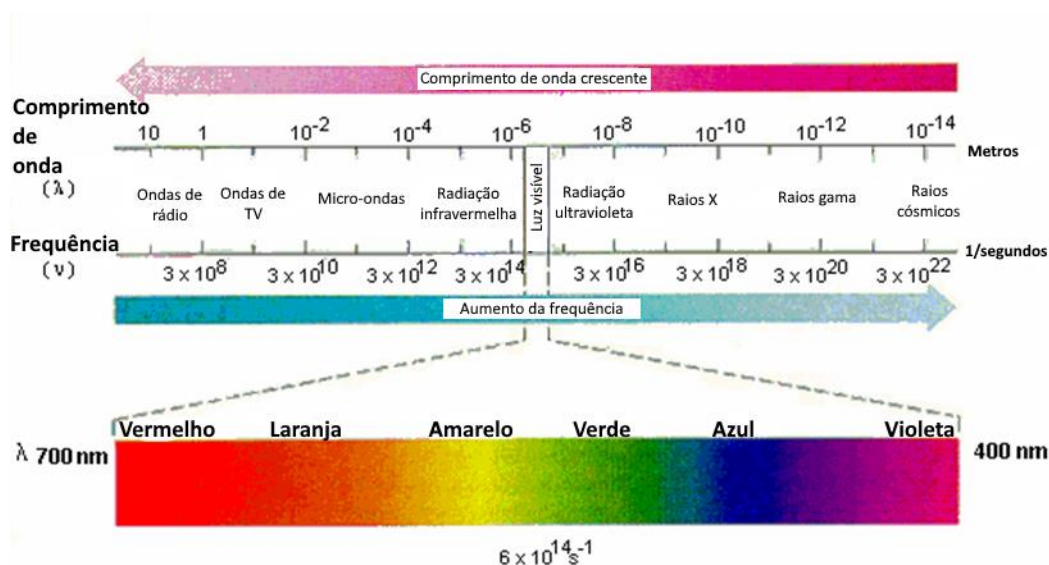


Fig. 16: Espectro da luz visível.

A luz solar é composta por cores diferentes; cada uma tem um comprimento de onda diferente que varia entre 400 e 700 nm. A clorofila absorve os comprimentos de onda vermelho e azul para uso energético, mas não absorve o verde. A cor verde reflete na folha e os nossos olhos vêem-na verde.

Atividade 4: Produção de oxigénio a partir de CO₂ usando a fotossíntese

Nesta proposta experimental, usaremos as folhas de uma planta para produzir oxigénio, graças ao bicarbonato de sódio, ao carbono e à luz de uma lâmpada. Vamos usar dois frascos de vidro transparente e sobre eles colocaremos filtros azuis e vermelhos.

As folhas verdes de vegetais devem ser frescas, consistentes e totalmente verdes, por isso é aconselhável espinafre ou beterraba. Com a ajuda de um furador ou furador de papel, cortaremos discos de folhas uniformes (calcule ter 10 discos por garrafa, evitando áreas com nervuras centrais).

Prepararemos uma solução de 2.5 g de bicarbonato de sódio por 1 litro de água, com o objetivo de impregnar os discos cortados das folhas com ela. Esperamos aumentar a quantidade de carbono disponível na forma de bicarbonato de sódio, tornando mais visível e acelerando o fenómeno que desejamos observar. Colocamos 20 ml da solução de bicarbonato de sódio em cada frasco de vidro.

Removemos o êmbolo de uma seringa descartável de 10 ml e colocamos os discos dentro da mesma, em seguida, colocamos suavemente o êmbolo e sugamos 10 ml da solução de bicarbonato até que os discos estejam suspensos na solução.

Temos de substituir o ar nos discos pela solução de bicarbonato. Para conseguir isso, sele a extremidade da seringa com um dedo e puxe firmemente, tentando aspirar e depois soltar. Nos espaços internos do tecido da planta, o ar será substituído pela solução de bicarbonato: dessa forma, os discos não flutuam na solução de bicarbonato e a solução será uma fonte de carbono disponível e próxima das estruturas fotossintéticas da folha.

Colocamos os discos de folhas assim tratados em cada frasco de vidro (que, por sua vez, contém a solução de bicarbonato). Cubra um dos frascos com uma folha de alumínio e cubra o outro frasco com papel celofane colorido. Uma lâmpada deve ser instalada em cada garrafa (com o papel a cobrir), para que o feixe de luz afete a amostra a ser estudada: tudo à mesma distância (é necessário ter fontes de luz individuais para cada garrafa, da mesma potência, não menos que 70 W: elas podem ser fontes fluorescentes, mas recomenda-se o uso de LEDs; evite lâmpadas incandescentes, como lâmpadas halógenas, pois elas perdem muita energia sob a forma de calor).

Quando acendemos a luz, começamos a medir o tempo com um cronómetro. Registamos o tempo que leva para que os discos comecem a subir na solução.



Fig. 17 e 18: A solução com lâmpada e filtro vermelho e filtro azul.

O processo não é imediato, pode demorar cerca de 5 minutos para que os discos comecem a subir (depende da intensidade das luzes e da distância a que a lâmpada é colocada). Os discos começam a subir à medida que liberam oxigénio na forma de bolhas, que ajudam na ascensão. Note-se que o movimento em cada garrafa ocorre em momentos diferentes, dependendo da cor da luz: é mais rápido para a luz azul. Dessa maneira, demonstramos que o componente de maior energia da radiação eletromagnética é o mais eficiente no processo. A taxa fotossintética está diretamente relacionada ao tempo que leva para os discos começarem a subir, um fenómeno ligado à produção de oxigénio. A taxa fotossintética é mais alta para o azul do que para o vermelho. Portanto, com esta experiência, estamos a demonstrar como as plantas e outros organismos fotossintéticos são responsáveis pela existência de oxigénio na nossa atmosfera. A substituição do ar pela solução de bicarbonato acelera o processo e permite visualizá-lo em menos tempo.



Fig. 19 e 20: A solução com lâmpadas de diferente cor mostrando que os discos sobem de forma diferente.

Além disso, com o tempo, a interação da radiação UV do Sol com as moléculas de oxigénio gerou ozono (O_3). Esse processo protege-nos da radiação UV mais energética, mas permite a passagem de UVA e UVB, o que cria vitamina D na pele dos seres humanos.

Variáveis alternativas a serem exploradas: concentração de bicarbonato na solução utilizada, temperatura, fontes de luz de diferentes cores e intensidades (mantendo as restantes condições

constantes e controlando a escuridão em todos os casos), folhas pré-expostas à luz ou à escuridão, etc.

Atividade 5: Verificar a possibilidade de vida em condições extremas

A fermentação para produzir álcool é um processo anaeróbico realizado por leveduras (fungos). Juntamente com as bactérias, o processo de fermentação é a base para a obtenção de energia nos micro-organismos. As leveduras transformam o açúcar (glicose) em álcool etílico (etanol) e dióxido de carbono. A fermentação é um processo de baixa eficiência energética, enquanto que a respiração é muito mais lucrativa e mais recente do ponto de vista evolutivo.

Então, como o açúcar é transformado em álcool etílico e dióxido de carbono, basearemos a nossa experiência na presença desse gás. Se observarmos a presença dele, saberemos que houve fermentação e, portanto, a possibilidade de vida foi testada.

As experiências de microbiologia requerem tempo para chegar a conclusões confiáveis; no nosso caso, a presença ou ausência de dióxido de carbono permitir-nos-á saber se, para cada uma das alterações nas condições ambientais, podemos deduzir que a vida é possível. Em todos os casos da nossa experiência, partimos de uma colheita em que a água está presente. Para ter tempo suficiente para observar a evolução da experiência, ela é preparada no início do workshop e a situação dos 7 procedimentos diferentes pode ser observada após uma hora.

Para isso, usaremos 1 colher de sopa de fermento (use fermento para fazer pão que pode ser comprado num supermercado), é um micro-organismo vivo fácil de obter, 1 copo de água morna (pouco mais de meio copo entre 22 °C e 27 °C) e 1 colher de sopa de açúcar que os microrganismos possam consumir.

Usaremos o mesmo procedimento na experiência de controle e nas outras experiências desenvolvidas em condições extremas.

Procedimento na experiência de controle

O açúcar é dissolvido em água quente num copo de vidro. De seguida, o fermento é adicionado e misturado com a ajuda de uma colher. Em seguida, a mistura obtida é colocada num saco plástico e colocada dentro de um saco hermético do tipo usado em supermercados. Todo o ar é extraído do interior (espalhando-o sobre a mesa e pressionando-o com as mãos estendidas) antes de o selar. É importante ter cuidado para não deixar ar dentro da bolsa. Após 5 minutos, observamos como o dióxido de carbono começou a acumular-se no saco. Após 20 minutos, bolhas aparecem dentro do saco devido à libertação desse gás, um dos produtos finais da fermentação que ocorre dentro do saco. A presença desse gás mostra que os microrganismos estão vivos.

Procedimento num "planeta alcalino" (por ex., Neptuno ou Titã possuem amónia presente): repita a experiência usando qualquer "base" disponível (bicarbonato de sódio, amónia ...) na água e aguarde para ver se aparecem bolhas, ou seja, se os microrganismos podem

viver ou não. Escalas de pH alcalinas: bicarbonato de sódio tem pH 8,4 e amônia doméstica tem pH 11.



Fig. 21: A experiência de controle, com bolhas de dióxido de carbono que mostram a existência de vida.

Procedimento num "planeta salino" (por exemplo, acredita-se que Marte ou Ganimedes tenham água com alta concentração de sal): repita a experiência dissolvendo diferentes quantidades de cloreto de sódio (sal comum) na água da torneira.



Fig. 22 e 23: A solução alcalina e a solução salina, ambas com bolhas.

Procedimento num "planeta ácido" (por exemplo, Vénus com chuva de ácido sulfúrico): repita a experiência dissolvendo vinagre, limão... ou qualquer outro ácido disponível, na água. Escalas de pH ácido: vinagre tem pH 2,9 e limão tem pH 2,3.

Procedimento num "planeta gelado" (por exemplo, Europa ou Trappist-1 h): coloque a bolsa num recipiente cheio de gelo e observe se há atividade, ou seja, se a bolsa inchar. Se houver um refrigerador ou frigorífico, ele também poderá ser usado. Se as bolhas não aparecerem, não há vida.

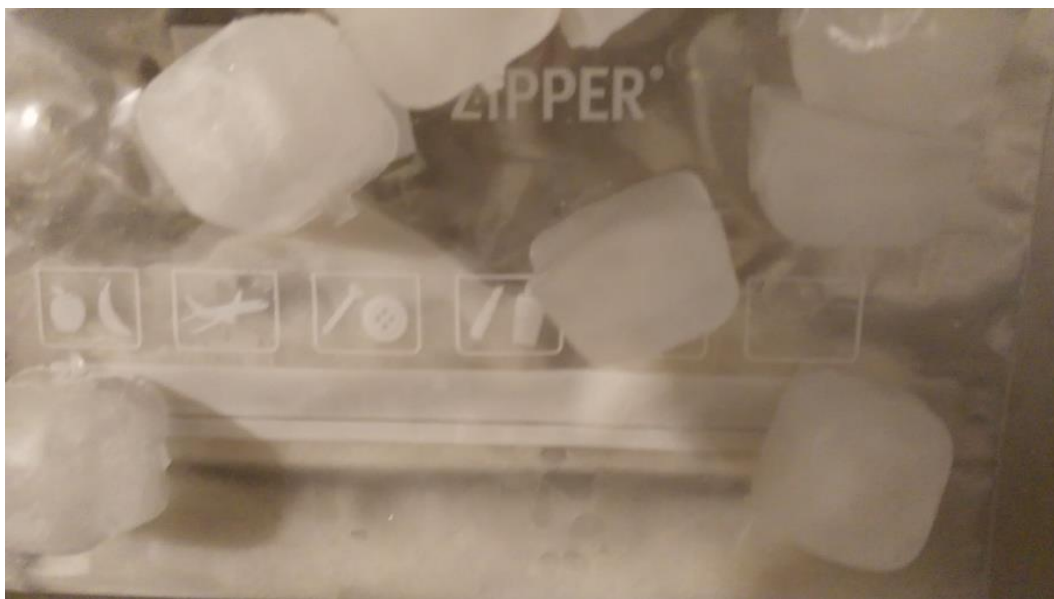


Fig. 24: A solução congelada, sem bolhas.

Procedimento num “planeta com UV” (por exemplo, Marte): realize a mesma experiência, mas mantendo o saco com fermento e açúcar sob a ação da luz UV produzida por uma lâmpada especial. Se a lâmpada UV usada for de alta energia (UV-C) ou (UV-B), nenhuma bolha aparecerá, o que significa que não é possível existir vida. Mas as lâmpadas comercializadas, chamadas de “luz negra”, são de baixa energia ultravioleta (UV-A), ou seja, não são perigosas para a vida e são frequentemente usadas em jardinagem pelos bons resultados que proporcionam, facilitando o crescimento das plantas. Utilizando este tipo de lâmpadas, observa-se que um número maior de bolhas é formado. Se aparecerem bolhas, há vida.

Procedimento num “planeta quente” (por exemplo, Vénus, devido ao efeito de estufa): realize a mesma experiência com água muito quente. No caso de Vénus, devemos usar água a ferver. (Se tiver um termómetro disponível, ela poderá ser repetida a diferentes temperaturas e uma tabela de atividades poderá ser obtida para essas temperaturas). Se aparecerem bolhas, haverá possibilidade de vida.

Planetas e exoplanetas com condições extremas e semelhantes às usadas nesta atividade

VÉNUS. Tem uma atmosfera densa, composta principalmente de dióxido de carbono e uma pequena quantidade de nitrogénio. A pressão ao nível da superfície é 90 vezes maior do que a pressão atmosférica na superfície da Terra. A enorme quantidade de dióxido de carbono na atmosfera causa um forte efeito de estufa que **eleva a temperatura da superfície do planeta para cerca de 464 °C, nas regiões menos elevadas perto do equador.** Isso torna Vénus mais quente que Mercúrio, apesar de estar a mais do dobro da distância ao Sol, onde recebe apenas 25% da sua radiação solar. As nuvens são compostas principalmente por gotículas de dióxido de enxofre e ácido sulfúrico e cobrem completamente o planeta, ocultando os detalhes da superfície à observação visual externa.

MARTE. Sob a superfície gelada daquele mundo deserto **poderá haver água salgada. Essa água pode abrigar formas de vida capazes de tolerar essas condições extremas.** No passado, era um lugar muito diferente. Sabemos que poderá ter sido muito parecido com a Terra. Tinha oceanos, vulcões e uma atmosfera tão densa como a nossa, rica em dióxido de carbono, mas isso não teria impedido a vida microbiana. **A única coisa que faltou ao planeta vermelho, e que fez com que terminasse de maneira tão diferente do nosso planeta, foi um campo magnético.** A menor gravidade e a falta de um campo magnético provocaram que o vento solar fosse capaz de remover lentamente a sua atmosfera. Além disso, Marte é um planeta que recebe na sua superfície radiação solar ultravioleta (UV) com uma forte componente biologicamente muito prejudicial (UV-C e UV-B), o que influencia notavelmente a deterioração da superfície para encontrar algum sinal de vida.

NEPTUNO. A estrutura interna de Neptuno assemelha-se à de Urano: um núcleo rochoso coberto por uma crosta gelada, escondido sob uma atmosfera espessa. Dois terços do interior de Neptuno são compostos de uma mistura de rocha derretida, água, amônia líquida e metano. O terço externo é uma mistura de gás quente composta de hidrogénio, hélio, água e metano. A sua atmosfera compreende aproximadamente 7% de sua massa. A grandes profundidades, a atmosfera atinge pressões aproximadamente 100 000 vezes maiores que a da atmosfera da Terra. **As concentrações de metano, amônia e água aumentam das regiões externas para as regiões internas da atmosfera.**

Ganimedes, satélite de Júpiter, é composto de silicatos e gelo, com uma crosta de gelo que flutua sobre um manto lamacento que pode conter **uma camada de água líquida com alta concentração de sais.** Os primeiros voos sobre Ganimedes da sonda Galileo descobriram que o satélite tem uma magnetosfera própria. Provavelmente é gerado de maneira semelhante à magnetosfera da Terra: isto é, resulta do movimento de material condutor no interior.

Titã, satélite de Saturno. **Acredita-se que também exista um oceano subterrâneo de água com amônia dissolvida** a uma profundidade de 100 quilómetros abaixo da superfície, e talvez outro de hidrocarbonetos. A atmosfera é composta por 94% de nitrogénio e é a única atmosfera rica em nitrogénio no Sistema Solar, além do nosso próprio planeta. Vestígios significativos de vários hidrocarbonetos compõem o resto. O gelo é muito semelhante ao que existe nos polos da Terra, flutuando no gelo.

Europa, satélite de Júpiter. Europa tem uma **superfície gelada e um oceano subterrâneo de água líquida.** A atmosfera que possui é fina e de baixa densidade, mas é composta de oxigénio. O gelo é muito semelhante ao que existe nos polos da Terra, flutuando no gelo. Europa possui um núcleo de níquel-ferro cercado por um manto rochoso quente, sobre ele existe um oceano de água líquida com uma profundidade, ainda em discussão pelos geólogos, de cerca de 100 km e com uma superfície gelada de 10 km.

Atividade 6: Encontrar uma segunda Terra

A Terra é o único planeta conhecido que sustenta vida. Portanto, se estamos à procura de um planeta com vida extraterrestre, uma boa opção é procurar planetas com condições semelhantes. Mas quais são os parâmetros importantes?

A tabela seguinte lista alguns exoplanetas e propriedades. Descarte os exoplanetas não adequados para a vida e talvez encontre uma segunda Terra. Pode encontrar alguns critérios após a tabela.

Nome do exoplaneta	Massa (massas da Terra)	Raio (raios da Terra)	Distância à estrela (ua)	Massa da estrela (massas do Sol)	Tipo espectral da estrela / Temperatura superficial
Beta Pic b	4,100	18,5	11,8	1,73	A6V
HD 209458 b	219,00	15,10	0,05	1,10	G0V
HR8799 b	2-226	14,20	68,0	1,56	A5V
Kepler-452 b	Desconhecida	1,59	1,05	1,04	G2V
Kepler-78 b	1,69	1,20	0,01	0,81	G
Luyten b	2,19	desconhecido	0,09	0,29	M3.5V
Tau Cet c	3,11	desconhecido	0,20	0,78	G8.5V
TOI 163 b	387	16,34	0,06	1,43	F
Trappist-1 b	0,86	1,09	0,01	0,08	M8
TW Hya d (por confirmar)	4	desconhecido	24	0,7	K8V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
Kepler-138c	1,97	1,20	0,09	0,57	M1V
Kepler-62f	2,80	1,41	0,72	0,69	K2V
Proxima Centauri b	1,30	1,10	0,05	0,12	M5V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
KIC 5522786 b	desconhecida	1,21	1,98	1,79	A

Tabela 3: Candidatos a uma segunda Terra.

Raio e massa

No nosso Sistema Solar existem planetas terrestres (Mercúrio, Vénus, Terra, Marte) e planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno). Planetas terrestres semelhantes à Terra são compostos de rochas e metais de silicato e têm uma densidade mais alta que os planetas gigantes. Bons indicadores para uma densidade adequada são o raio e a massa do planeta.

Estamos usando a definição da equipa da Missão Kepler: os planetas do tamanho da Terra e super-Terra têm um raio menor que 2 raios da Terra. Dez massas terrestres é considerado o limite superior para planetas de tamanho super-terrestre.

Zona habitável

A zona habitável é a faixa de órbitas em torno de uma estrela dentro da qual uma superfície planetária pode suportar água líquida.

As principais estrelas da sequência em que estamos focados têm uma correlação direta entre o brilho e a temperatura da superfície da estrela. Quanto mais quente a temperatura da superfície, mais brilhante é a estrela e mais distante é a zona habitável. Os tipos espectrais indicam a temperatura da superfície (consulte a tabela abaixo).

Os tipos espectrais são classificados com uma letra (O, B, A, F, G, K, M) e subdivididos por um número de 0 a 9 (0 é o mais quente num determinado tipo espectral). O V indica uma estrela da sequência principal.

Tipo espectral	Temperatura (K)	Zona habitável (ua)
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2,6-5,2
F5V	6 400	1,3-2,5
G5V	5 800	0,7-1,4
K5V	4 400	0,3-0,5
M5V	3 200	0,07-0,15

Tabela 4: Zona habitável em função do tipo espectral.

Dica: Se o tipo espectral de uma estrela for ligeiramente diferente ou o subtipo for desconhecido, use os valores fornecidos para a zona habitável como aproximação.

Massa da estrela anfitriã

Para estudar a habitabilidade num sistema planetário em torno das estrelas da sequência principal, devemos considerar a evolução da estrela anfitriã.

Cerca de 1 000 milhões de anos após a formação da Terra, ocorreram as primeiras formas de vida. Talvez houvesse vida antes disso, mas é incerto. Portanto, a estrela anfitriã deve permanecer estável pelo menos por $\sim 10^9$ anos para que a vida evolua.

A energia que uma estrela pode produzir a partir da fusão de hidrogénio é proporcional à sua massa. O tempo da sequência principal obtém-se dividindo essa energia pela luminosidade da estrela. Se usar essa proporcionalidade e usar o Sol como referência, obterá a primeira parte da fórmula. A partir dessas considerações, podemos estimar a vida útil da sequência principal de uma estrela:

$$\frac{t_*}{t_S} = \frac{\frac{M_*}{M_S}}{\frac{L_*}{L_S}}$$

Para estrelas anãs normais ou para a sequência principal do diagrama H-R, a luminosidade é aproximadamente proporcional à massa elevada à potência de aproximadamente 3,5 $\times L \propto M^{3,5}$

$$\frac{t_*}{t_S} = \frac{\frac{M_*}{M_S}}{\frac{M_*^{3,5}}{M_S^{3,5}}} = \left(\frac{M_*}{M_S}\right)^{-2,5}$$

$$\frac{t_*}{t_S} = \left(\frac{M_S}{M_*}\right)^{2,5}$$

que fornece a vida útil de uma estrela como uma fração da vida útil esperada do Sol (10^{10} anos). Uma versão simplificada desta fórmula é:

$$t^* \sim 10^{10} \times \left(\frac{M_S}{M}\right)^{2,5} \text{ anos}$$

Vamos calcular um limite superior para a massa da estrela se o intervalo de tempo da sequência principal for de pelo menos 3 mil milhões de anos.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0,4} M_S$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0,4} M_S$$

$$M^* = 1,6 M_S$$

Vemos que, para estrelas com massas $> 2 M$, a vida útil da sequência principal cai abaixo de 1 ano galáctico (tempo para percorrer o centro galáctico, 250 milhões de anos), assim, mesmo que existam planetas habitáveis ao seu redor, a vida provavelmente não teria tempo suficiente para evoluir.

Bibliografia

- Álvarez, C., y otros, *Guia Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018.
- Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018.
- Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018.
- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción, Viladecans, 2018.
- Summers M, Trefil, J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System*, Smithsonian Books; 2018.
- Tasker, E. *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, 2017.