
ASTROBIOLOGIA, EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E INTERDISCIPLINARIDADE

JOSÉ EURIPEDES BEZERRA BRITO

Instituto Federal de São Paulo (IFSP)
E-mail: euripedes.jose@aluno.ifsp.edu.br

RICARDO ROBERTO PLAZA TEIXEIRA

Instituto Federal de São Paulo (IFSP)
E-mail: rteixeira@ifsp.edu.br

RESUMO

O principal objetivo deste artigo é refletir sobre as possibilidades interdisciplinares do trabalho educacional com tópicos relacionados à área da Astrobiologia, de modo a contribuir para a educação científica, principalmente para estudantes do ensino fundamental e médio. A fundamentação teórica foi estabelecida a partir de artigos relacionados à área da Astrobiologia. São analisadas as condições de habitabilidade que planetas e satélites precisam apresentar para abrigar a vida, como a conhecemos, com uma especial ênfase para as propriedades que tornam a água em seu estado líquido propícia para o desenvolvimento de processos biológicos. Foram investigados também os fatores que contribuíram para o surgimento e a continuidade da vida na Terra por bilhões de anos; nessa abordagem, foram consideradas as possibilidades para a inserção de temas de Astrobiologia em atividades de ensino que fomentem a educação científica. Ao final, foram sugeridos recursos didáticos e fontes de informação sobre Astrobiologia para, por exemplo, colaborar com educadores que pretendam elaborar sequências didáticas sobre este assunto. Este é um ensaio fundamentado em uma metodologia de pesquisa bibliográfica.

PALAVRAS-CHAVE:

Aprendizagem, Habitabilidade, Temperatura, Astrobiologia.

ASTROBIOLOGY, SCIENTIFIC EDUCATION AND INTERDISCIPLINARITY

ABSTRACT

This paper aims to discuss on the interdisciplinary possibilities of educational work with topics related to the field of Astrobiology, in order to contribute to scientific education, especially with students in elementary and high school. Its theoretical foundation was established from papers related to the area of Astrobiology. The habitability conditions that planets and satellites need to support life as we know it are analyzed, with special emphasis on the properties that make liquid water suitable for the development of biological processes. The factors that contributed to the emergence and continuity of life on Earth for billions of years were also investigated; in this approach, the possibilities for the inclusion of Astrobiology themes in teaching activities that promote scientific education were considered. Didactic resources and sources of information on Astrobiology and related areas are suggested, for example, to collaborate with

educators who intend to develop didactic sequences on this subject. This is an essay based on a bibliographic research methodology.

KEYWORDS:

Learning, Habitability, Temperature, Astrobiology.



1. INTRODUÇÃO

Este trabalho é um ensaio que pretende apresentar contribuições para a área de ensino de ciências, tendo como eixo condutor a área da Astrobiologia que estuda as possibilidades de existência de vida fora da Terra em termos científicos. Isto se justifica pelo fato de que esta temática atrai a atenção de muitos alunos da educação básica e está bastante presente em diferentes manifestações culturais às quais estes estudantes têm acesso, sobretudo em obras cinematográficas e literárias de ficção científica.

Como fundamentação para este artigo foi usada a metodologia da pesquisa bibliográfica. No seu início é analisado o próprio campo de pesquisa da Astrobiologia e suas especificidades. A seguir são examinadas as condições de habitabilidade de um planeta ou satélite natural. Na sequência são investigadas as características que tornam a água líquida um ingrediente considerado fundamental para a existência de vida. Os fatores propícios para a vida, no caso da Terra, são então discutidos de modo a evidenciar a complexidade de condições envolvidas neste problema. A partir dos conhecimentos de Astrobiologia investigados, são então avaliadas algumas abordagens para o trabalho com estes saberes, visando ao fortalecimento da educação científica, inclusive com sugestões de tema e recursos didáticos para o trabalho em sala de aula.

O objetivo principal deste artigo foi refletir sobre as possibilidades de explorar, com abordagens interdisciplinares, tópicos relacionados à área da astrobiologia de modo a contribuir para a educação e formação científica dos cidadãos.

2. ASTROBIOLOGIA

O termo Astrobiologia (ou Exobiologia) ganhou popularidade como um campo de pesquisa em 1998, quando a NASA renomeou e reestruturou seu antigo programa de exobiologia para abranger o estudo da vida na Terra e fora da Terra, criando o *NASA Astrobiology Institute* – NAI (RODRIGUES *et al.*, 2012). Até hoje, o site da NASA sobre astrobiologia é uma fonte confiável de conhecimentos nesta área, inclusive para a elaboração de recursos didáticos¹. Em português, uma outra boa fonte de conhecimentos nesta área é a obra “Astrobiologia: Uma Ciência Emergente” publicada pelo Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo (GALANTE *et al.*, 2016) e disponibilizada gratuitamente na internet (em versão pdf): são 16 capítulos independentes e sobre diferentes temas que tratam de uma ampla gama de assuntos relacionados à área da Astrobiologia de um modo razoavelmente acessível ao leitor leigo e interessado, mas sem nível universitário. Estes capítulos mostram que de fato a Astrobiologia é uma área de investigação excitante tanto para cientistas que a pesquisam, quanto para estudantes que aprendem sobre ela.

A Astrobiologia é um campo científico de desenvolvimento relativamente recente, o qual consegue, pela sua própria natureza interdisciplinar, dialogar com diversas áreas de conhecimento: deste modo, ela pode ser utilizada como um tema motivador na sala de aula, sobretudo pelo modo como pode integrar as diferentes das ciências naturais na educação básica (LOPES; SANT’ANA; GANDARA, 2021). Adicionalmente, temas de Astrobiologia permitem contextualizar diversos conceitos científicos, de modo a conferir significado para a sua aprendizagem. O seu ensino pode colaborar para o desenvolvimento da criatividade e da capacidade de

¹ Disponível em: <<https://astrobiology.nasa.gov/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.



investigação dos alunos, encaminhando-os para problemas reais existentes contemporaneamente, expandindo as suas visões de mundo e tornando-os cidadãos mais conscientes acerca do seu papel e das suas ações no mundo.

Quanto à pesquisa, o desenvolvimento do campo científico da Astrobiologia tem colaborado para fomentar um sólido programa de pesquisa de investigação espacial, que pode produzir subprodutos sociais e tecnológicos importantes, em áreas como telecomunicações, agricultura, previsão do tempo, sensoriamento remoto, segurança nacional e, também, no estudo da evolução biológica na própria Terra durante cerca de 4 bilhões de anos (RODRIGUES, 2012). A busca pela origem da vida pode, de modo geral, auxiliar na compreensão da origem da vida na Terra: pensar um problema de modo mais amplo é uma forma de tentar achar soluções para um problema mais específico.

Astrobiologia é um campo de conhecimento que se situa na fronteira da ciência atual – uma ciência emergente – a qual está profundamente relacionada às questões básicas sobre o surgimento, a manutenção e a dispersão da vida pelos mais diversos ambientes terrestres e nas mais diferentes condições (BLUMBERG, 2003): isso implica compreender os componentes químicos que constituem a vida, os processos metabólicos de transformação de energia dos seres vivos e as condições que tornam certos ambientes habitáveis e propícios para a vida.

O grande apelo popular propiciado pela Astrobiologia tem o potencial para engajar o público em questões científicas e para motivar a curiosidade dos mais jovens pelas ciências naturais, inclusive encorajando muitos a seguirem profissionalmente a carreira nessas áreas acadêmicas (GALANTE *et al.*, 2016). Certamente muito desse apelo deriva da sua natureza parcialmente transcendental – como ocorre com a pergunta “O que é vida?” – e de algumas das questões

metafísicas com as quais a Astrobiologia, como área científica, está envolvida, tais como: De onde viemos? Como a vida começou a evoluir? Qual é o futuro da vida? Existe vida em algum outro lugar do universo? (STALEY, 2003). Além disso, por ser uma área de pesquisa em ciência exploratória e básica e pelo fato de não existirem respostas definitivas para a sua principal questão, sobre a existência de vida fora da Terra, o trabalho pedagógico com temas de Astrobiologia pode ajudar os alunos e entenderem os métodos usados pela ciência para enfrentar problemas concretos, encontrar soluções e explicar diferentes aspectos do universo em que vivemos.

Entre os diversos temas associados à área da Astrobiologia, podem ser citados: condições de habitabilidade de um determinado corpo celeste; planetas e satélites habitáveis no Sistema Solar e exoplanetas habitáveis; busca por bioassinaturas em corpos extraterrestres; origem e evolução da vida na Terra; estudo da biosfera primitiva da Terra e da vida em ambientes extremos; evidências de vida primitiva de diversos tipos, como fósseis e geoquímicas; eventos de extinção em massa da vida; cosmogênese dos elementos; formação planetária (STALEY, 2003).

3. CONDIÇÕES DE HABITABILIDADE

A habitabilidade de um corpo celeste é um conceito fundamental para a Astrobiologia. Um planeta ou satélite natural com habitabilidade é capaz de suportar a atividade metabólica de pelo menos um organismo vivo conhecido, permitindo a sua sobrevivência, manutenção, crescimento e reprodução; entretanto, ambientes habitáveis não necessariamente contém vida (COCKELL *et al.*, 2016).

A Zona Habitável é a região em torno de uma estrela hospedeira (uma coroa esférica) na qual a sua luminosidade é suficiente por manter água líquida na superfície de planetas e luas, de modo contínuo, por alguns bilhões de anos, o tempo esperado para que ocorra o desenvolvimento e a evolução da vida (BERNARDES, 2013). A zona habitável depende consideravelmente, portanto, da massa e do tipo de estrela em questão (ANGERHAUSEN *et al.*, 2012). Em torno do Sol, a zona continuamente habitável, de quatro bilhões de anos atrás até o presente, é de cerca de 0,9 a 1,2 Unidades Astronômicas, sendo 1 UA (Unidade Astronômica) a distância da Terra ao Sol (LISSAUER, 2018).

No âmbito da nossa Galáxia, a Via Láctea, para ser habitável, um sistema estelar não pode estar muito perto do centro galáctico, uma região conturbada e com pouca estabilidade, pois apresenta muita emissão de raios gama, intensa formação de estrelas e fortes perturbações gravitacionais; por outro lado, ele não pode também estar muito distante do centro da Galáxia, pois essa é uma região de baixa metalicidade e com uma menor abundância dos principais elementos químicos que formam os planetas rochosos (FARIAS; BARBOSA, 2017). A chamada Zona Habitável Galáctica se encontra a uma distância de aproximadamente entre 20.000 e 30.000 anos-luz do centro da Via Láctea, com uma grande concentração de estrelas formadas entre 4 e 8 bilhões de anos atrás: o Sol – em torno do qual orbita a Terra, que abriga vida – está situado a cerca de 26.000 anos-luz do centro da nossa galáxia (MAJAESS, 2010).

Além da existência de um solvente (água), além da temperatura necessária para que a água esteja em estado líquido e de alguma fonte de energia a ser consumida para sustentar o metabolismo dos seres vivos, os seis elementos da tabela periódica que estão presentes nas macromoléculas dos organismos vivos da

Terra são Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Enxofre (S), conhecidos pelo acrônimo CHONPS (os quatro primeiros são os mais comuns). Em particular, o Carbono ($Z=6$) – que é o quarto elemento mais abundante em massa no Universo, na Via Láctea e no Sistema Solar, após o Hidrogênio ($Z=1$), o Hélio ($Z=2$) e o Oxigênio ($Z=8$) – desempenha um papel central na vasta variedade de macromoléculas que caracterizam os seres vivos (COCKELL *et al.*, 2016), como, por exemplo, é o caso das proteínas. O fato de o átomo de carbono poder realizar até 4 ligações (tetavalente) e ser pequeno dá a ele as características ideais de versatilidade para construir as longas e diversas cadeias atômicas que formam grandes moléculas existentes nos seres vivos terrestres: o carbono compõe cerca de 50% de todo peso seco das coisas vivas (HOUGHTON, 2003). Essas características, associadas ao fato de que o carbono é abundante no espaço, contribuem para a expectativa de que se for encontrada vida fora da Terra, ela também será baseada em carbono (SALAMA, 2000).

4. ÁGUA LÍQUIDA

Uma das condições necessárias para ocorrer vida como conhecemos é a existência de água líquida, o que implica dois quesitos: existir água e haver uma temperatura adequada para que a água possa existir no estado líquido. Obviamente, não é possível afirmar com segurança que toda a vida existente no Universo deve ser baseada em água líquida; entretanto, é difícil identificar qualquer outro solvente que possa corresponder à versatilidade e à responsividade da água na mediação do tipo de interações moleculares que provavelmente são exigidas por qualquer sistema vivo (BALL, 2013). A água já foi detectada nos lugares mais exóticos e com as temperaturas mais extremas: tanto em manchas solares

extremamente quentes (com temperaturas da ordem de 5000 K), quanto em nuvens interestelares moleculares frias (HANSLMEIER, 2011).

É possível inclusive distinguir entre mundos com água líquida superficial (como a Terra) que podem sustentar água líquida em sua superfície, com condições para ocorrer a fotossíntese – e com a consequente produção de gás oxigênio atmosférico e o surgimento de vida multicelular potencialmente mais complexa – e mundos com água líquida no seu interior, como luas geladas (como é o caso da lua Europa de Júpiter) e planetas rochosos com água líquida apenas em seu interior, sem condições de sustentar vida que produza fotossíntese, como é o caso das arqueias extremófilas que vivem em altas temperaturas, perto de chaminés vulcânicas no fundo dos oceanos terrestres (COCKELL *et al.*, 2016).

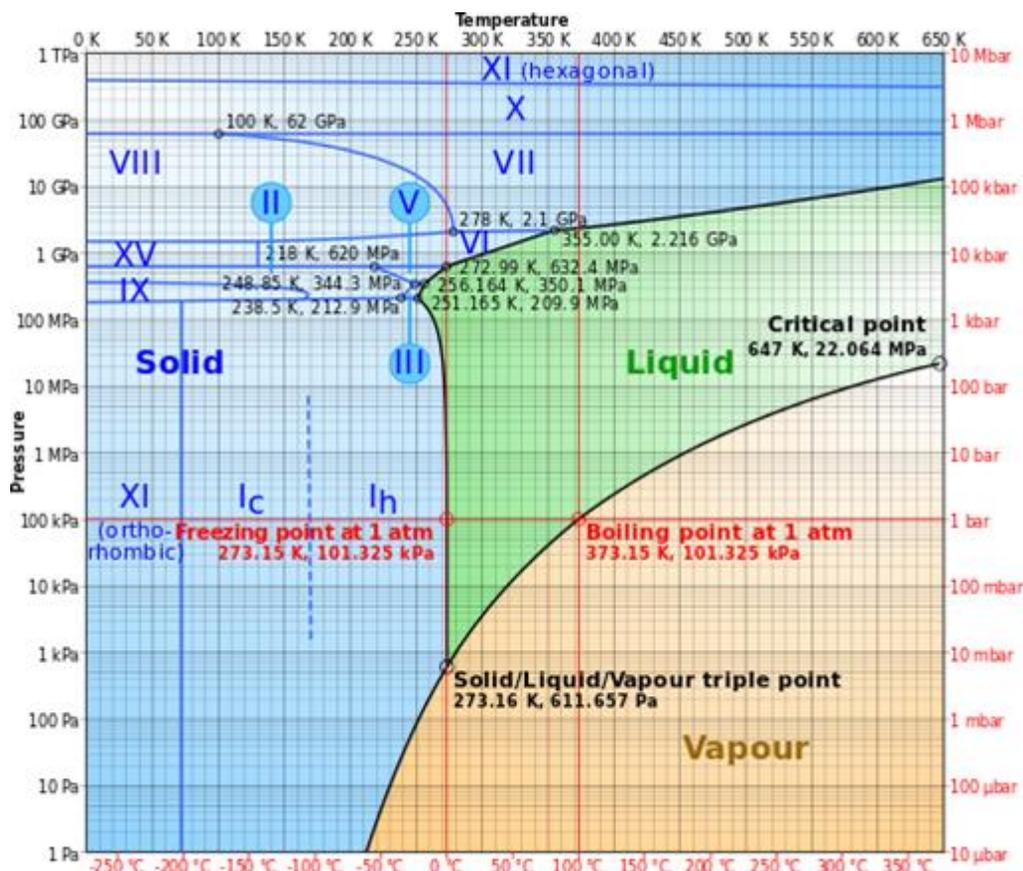
A molécula de água é bem simples: dois átomos de Hidrogênio conectados a um átomo central de Oxigênio formando um “V” (ZHANG *et al.*, 2015). A água (H₂O) é formada por dois dos três elementos mais abundantes no universo – Hidrogênio, o mais abundante, e Oxigênio, o terceiro mais abundante (o segundo mais abundante é o Hélio) – e, portanto, é abundante no espaço interestelar e em nosso Sistema Solar. O gelo de água está presente em nuvens interestelares de gás e poeira, abrindo a possibilidade para a formação de compostos orgânicos que são importantes precursores da vida; este material foi incorporado a cometas e asteroides, logo no início do Sistema Solar (MOTTL *et al.*, 2007). Enquanto o Hidrogênio e o Hélio foram formados no processo que se seguiu após o Big Bang, o Oxigênio foi sintetizado nas fornalhas nucleares do núcleo das estrelas de primeira geração, por processos de fusão nuclear, juntamente com outros elementos mais pesados, como Carbono e Nitrogênio. Assim, o estudo da cosmogênese dos elementos da tabela periódica pode ser uma maneira criativa de abordar o tema de

forma interdisciplinar no ensino desta temática, pois permite integrar conteúdos de Física e de Química, de um modo didaticamente interessante.

O papel da água de dar suporte à vida na Terra é proveniente também de suas propriedades incomuns em comparação com outros compostos potencialmente abundantes, como a sua dipolaridade, sua expansão no congelamento e suas propriedades de solvente. As formas pelas quais várias moléculas de água se relacionam entre si estão relacionadas a complexidades que dependem da pressão e a da temperatura. À pressão de 1 atmosfera, a pressão atmosférica na Terra no nível do mar (aproximadamente 0,1 Mpa ou, de modo mais preciso, 101,325 kPa), as temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água, que definem os limites para a existência de água líquida, são os conhecidos valores 0°C e 100°C, os dois pontos são usados para definir a própria escala Celsius, inclusive. Entretanto, em outras pressões, esse intervalo pode variar consideravelmente. Conforme é possível perceber pelo gráfico do diagrama de fase da água apresentado na Figura 1 (ZHAN *et al.*, 2015), quando a pressão cresce, a temperatura de ebulição de água cresce também: para se ter ideia, com uma pressão de aproximadamente 220 atm, a temperatura de ebulição da água é da ordem de 370°C. Por sua vez, a temperatura de fusão do gelo não varia consideravelmente: a essa mesma pressão de aproximadamente 220 atm, a temperatura de fusão do gelo é de -1,7°C. Por outro lado, ao diminuirmos a pressão a temperatura de ebulição da água diminui, enquanto a temperatura de fusão do gelo quase não varia, como ocorre quando aumentamos a pressão. Assim, partindo-se de 1 atm, quando a pressão é diminuída até atingir aproximadamente 0,01 atm (1% da pressão atmosférica), a temperatura de ebulição da água vai decrescendo até se aproximar de cerca de 0°C, enquanto a temperatura de fusão do gelo se

mantém em aproximadamente 0°C, até que eventualmente estas duas temperaturas se tornem iguais. Esse é o chamado Ponto Triplo da água, no qual podem conviver os seus três estados (sólido, líquido e gasoso), simultaneamente; em valores mais precisos, para o Ponto Triplo da água, a temperatura é de 0,01°C e a pressão é de 611 Pa ou 0,006 atm. Portanto, pouco abaixo de algo da ordem de 0,01 atm não existe água no estado líquido, e quando a temperatura do gelo aumenta de valores negativos para valores positivos, na escala graus Celsius, o gelo transforma-se do estado sólido diretamente para o estado gasoso (vapor), transformação essa denominada de sublimação.

Figura 1 – Diagrama de fase da água em uma escala monolog.



Fonte: Cmglee - Creative Commons² (2021).

Em resumo, a Figura 1 permite conhecer melhor as condições de temperatura e de pressão para que a água se encontre em estado líquido, algo que é vital para as condições de habitabilidade de um planeta, por exemplo.

A temperatura de fusão da água também pode variar se ela for misturada com algum sal formando uma solução aquosa. Uma solução de água com cerca de

² Disponível em:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phase_diagram_of_water.svg#/media/File:Phase_diagram_of_water.svg.
 Acesso em: 05 jan. 2022.

22,4 % de Cloreto de Sódio (NaCl), por exemplo, tem temperatura de fusão de cerca de $-21,2^{\circ}\text{C}$ (XIE *et al.*, 2017).

Há pesquisas que apontam para a possibilidade de que após a formação da Terra, há cerca de 4,5 bilhões de anos, uma das principais fontes de água para formar os oceanos terrestres se deu a partir da colisão de asteroides e cometas com a superfície terrestres (HARTOGH *et al.*, 2011). As possíveis fontes de água dos planetas solares, de seus satélites e de exoplanetas precisam ser compreendidas de modo mais satisfatório para que fiquem mais claras as condições de habitabilidade dos diferentes corpos celestes. Entretanto, mesmo não existindo uma teoria consensual sobre a formação dos oceanos e da atmosfera da Terra, é promissor para a perspectiva de encontrar vida extraterrestre, que pequenos planetas rochosos, similares à Terra, situados na zona habitável de uma estrela, possam adquirir e reter água durante a formação de um sistema planetário, como ocorreu com nosso próprio planeta (MOTTTL *et al.*, 2007).

No fundo dos oceanos terrestres, perto das denominadas chaminés vulcânicas, foram descobertos seres extremófilos – arqueias (micro-organismos procaríotos, ou seja, que não possuem um núcleo) – que sobrevivem a temperaturas próximas da ebulição. Um dos hipertermófilos mais resistentes ao calor já encontrados é o *Pyrolobus fumarii* que vive em temperaturas de 113°C nas paredes de chaminés negras no fundo dos mares. Muitos cientistas acreditam que o limite da temperatura para a vida esteja em torno de 120°C (ASHCROFT, 2001). Como a vida, após se originar bastante cedo na Terra, se adaptou rapidamente a ambientes extremos, de calor, frio, secura, salinidade e acidez, essa capacidade de adaptação a condições extremas pode ser considerada, em certo sentido, um

indicativo sobre a perspectiva de encontrar vida em outras partes do nosso Sistema Solar ou em sistemas planetários existentes ao redor de outras estrelas.

No que diz respeito à variação da temperatura da superfície terrestre desde a sua formação, é importante ressaltar a sua estabilidade que se manteve com variações não muito acentuadas de modo a conseguir manter o nosso planeta continuamente habitável por mais de 3 bilhões de anos, estabilidade essa que pode ter sido conseguida, talvez, por mero acaso: eventos aleatórios (como impactos de grandes asteroides ou erupções solares) poderiam ter tornado o nosso planeta ou muito quente ou muito frio de modo a perder as suas condições de habitabilidade, algo que felizmente, não ocorreu (TYRRELL, 2020).

5. FATORES PROPÍCIOS PARA A VIDA NA TERRA

A integração de diferentes conteúdos disciplinares no trabalho didático permite que os alunos se apropriem de conhecimentos que tornem possível compreender algumas características da Terra e do Sistema Solar que criaram condições propícias e estáveis para que a vida pudesse evoluir por cerca de quase 4 bilhões de anos em nosso planeta. O estudo de algumas destas características pode colaborar para a compreensão de conceitos científicos importantes.

A presença de um satélite natural tão grande como a Lua – e numa órbita tão próxima de nós – funcionou como um estabilizador para a existência da vida na Terra. A inclinação de aproximadamente $23,5^\circ$ do eixo de rotação da Terra em relação à linha perpendicular ao plano de translação de nosso planeta em torno do Sol – inclinação essa que causa as estações do ano, fenômeno muito importante para os ciclos de vida na Terra – só é relativamente estável ao longo do tempo, devido à presença da Lua (GRIBBIN, 2011). Da mesma forma os movimentos de

marés, importantes também para os ciclos de vida na Terra, acontecem em grande parte devido à presença da Lua; o efeito do Sol para os movimentos de marés é de cerca de 50% do efeito provocado pela Lua. Portanto, a Lua exerceu uma importante influência nos processos biológicos existentes na Terra (MORGAN, 2000).

A existência de planetas gigantes, como Júpiter e de Saturno, ajudou a estabilizar o Sistema Solar, protegendo a Terra e os outros planetas rochosos interiores (Mercúrio, Vênus e Marte) de colisões frequentes com objetos grandes. Estes impactos poderiam contribuir para a perda da atmosfera terrestre, o que seria um risco para a habitabilidade do nosso planeta (LEWIN, 2016). Entretanto, é importante ressaltar que em situações diferentes daquela vivenciada no Sistema Solar, a presença de planetas gigantes pode até fazer crescer o fluxo de impactos de asteroides e outros objetos ou simplesmente não fornecer qualquer tipo de proteção (COCKELL *et al.*, 2016).

Um outro fator de proteção da vida na Terra é a existência do intenso campo magnético terrestre (GUNNARSDÓTTIR, 2012), produzido pelo movimento de metais líquidos na camada externa do núcleo terrestre que acaba funcionando como um dínamo. Esse campo magnético (magnetosfera), agindo ao redor do planeta, nos protege dos efeitos nocivos das partículas e da radiação vinda de fora da Terra (VON EHRENFRIED, 2019), especialmente do vento solar. Uma consequência adicional, também positiva para a existência de vida, é que esse campo magnético também impediu que fosse arrancada a atmosfera terrestre.

6. EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E INTERDISCIPLINARIDADE

Estratégias de ensino que realmente motivem os alunos para o processo de aprendizagem e para o processo de construção de conhecimento têm sido discutidas em diferentes contextos, sobretudo devido ao baixo nível de interesse por áreas das ciências naturais, o que está correlacionado com baixos níveis de aprendizagem. O trabalho com situações reais envolvendo problemas que estão sendo de fato enfrentados pelos cientistas na atualidade pode ajudar a despertar o interesse de muitos estudantes pela busca ativa por novos conhecimentos, pois permite mostrar a ciência como algo vivo e desafiador (ROSA *et al.*, 2021).

Metodologias de ensino que tenham como base posturas ativas por parte dos alunos visando a transformá-los em protagonistas de fato do seu próprio processo de aprendizagem precisam colaborar para o desenvolvimento, pelos estudantes, de diversas habilidades de pesquisadores: o professor deste modo passa a ter um papel muito mais de orientador de atividades de investigação e de facilitador na produção da autonomia do que de transmissor de conteúdos e conhecimentos (PEREIRA, 2012). Se por um lado, competir com o “Google” é impossível para qualquer ser humano, na capacidade, por exemplo, de memorização de informações, por outro lado, o crescimento da disseminação de notícias falsas e o crescimento de movimentos de negação da ciência mostram que saber avaliar a solidez e a consistência científica de um determinado conteúdo veiculado por um site da internet é uma habilidade necessária para qualquer cidadão e que precisa sim ser aprendida durante a vida escolar dos jovens na educação básica.

O estudo da Astrobiologia exige também habilidades de imaginação e de criatividade tanto por parte de quem a investiga, quanto por parte de quem a

aprende: só conhecemos, até o momento, as formas de vida existentes na Terra, entretanto, é possível, tentar, por exemplo, imaginar, tendo como base a ciência existente hoje, em possíveis variações nas formas como a vida poderia se desenvolver em outras condições, até porque, mesmo no que diz respeito à vida existente em nosso planeta, ela tem como uma de suas características a grande diversidade no que diz respeito aos mais diversos ecossistemas terrestres. Assim, em tese, é possível que a biodiversidade seja maior ainda, quando forem levados em considerações condições diferentes das existentes na Terra.

A utilização da Astrobiologia como eixo temático em atividades educacionais permite que sejam trabalhadas questões a respeito dos métodos científicos usados por pesquisadores. É possível por exemplo, trabalhar com as diferenças existentes entre ciência e pseudociência, fazendo por exemplo um contraponto conceitual entre a Astrobiologia e a ufologia, com uma abordagem similar em alguns pontos à contraposição existente entre Astronomia e astrologia ou mesmo entre Química e alquimia.

A Astrobiologia é um campo propício para que ocorra a interdisciplinaridade, definida pela interação entre duas ou mais disciplinas científicas em um contexto de busca ativa frente ao conhecimento; para que esse processo de construção ocorra é importante refletir sobre temas como o processo de organização dos saberes, a estruturação hierárquica das disciplinas, a interação dinâmica dos artefatos que as compõem, sua mobilidade conceitual e a comunicação e transposição dos saberes nas sequências didáticas a serem organizadas (FAZENDA, 2008). Assim, no processo de ensino, cada disciplina precisa ser analisada pelos saberes que contempla, pelos seus conceitos e pelos movimentos engendrados por esses saberes.

Nesse sentido, discussões sobre se vírus são ou não são seres vivos, podem colaborar para uma reflexão mais profunda e articulada sobre conceitos físicos subjacentes a esta questão. Alguns pesquisadores argumentam que como os vírus não possuem metabolismo fora de uma célula, eles não poderiam ser considerados seres vivos. Outros pesquisadores, argumentam que eles deveriam ser considerados seres vivos, pois eles se reproduzem (dentro de uma célula), contam com a presença de moléculas associadas à vida (como proteínas, lipídios e carboidratos), apresentam variabilidade genética e são compostos por ácidos nucleicos. Assim, vírus podem ser considerados como seres vivos explorando outros seres vivos. Os vírus são uma das entidades vivas mais abundantes existentes e provavelmente tiveram um papel importante na evolução da vida. Um vírus é menor e mais simples que um micro-organismo unicelular e é composto de proteínas e ácidos nucleicos (DNA ou RNA): para se auto-organizar e se replicar ele usa um outro organismo vivo de modo a concluir o seu ciclo de vida. Como os vírus não têm organelas como ribossomos ou mitocôndrias, eles são completamente dependentes da célula hospedeira para a produção de energia e para a síntese de proteínas (FENNER *et al.*, 1987).

Atividades pedagógicas envolvendo temas de astrobiologia podem ser feitas a partir do estudo das características dos dois planetas vizinhos mais próximos da Terra – Vênus e Marte – sobre a temperatura deles e sobre as suas atmosferas. Em particular, isso pode ser estimulado pela facilidade de observar estes dois planetas na abóboda celeste, sem a necessidade de uso de telescópio. Vênus é o objeto mais visível do céu noturno, após a Lua: é a chamada “Estrela Dalva”, que aparece no céu geralmente quando o Sol se põe, no início da noite, ou pouco antes do Sol nascer, antecedendo o início da manhã. Já Marte (de coloração ligeiramente avermelhada)

não é tão fácil de ser visto quanto Vênus, mas a posição de ambos no céu noturno pode ser encontrada facilmente com o auxílio de aplicativos gratuitos para celular como o “Carta Celeste”³ (“Star Chart”), o “Star Walk 2”⁴ e o “Sky Map”⁵, bem como de sites de livre acesso com programas que simulam e mapeiam o céu noturno, como o “Stellarium”⁶, o “Heavens Above”⁷ e o “Apolo 11”⁸.

A Tabela 1 mostra alguns dados comparativos entre Vênus, Terra e Marte, mais especificamente, a massa do planeta, a temperatura média na superfície, a pressão média na superfície e a porcentagem de dióxido de carbono na atmosfera, a partir de dados disponibilizados pelo “Planetary Fact Sheet – Metric”⁹ da NASA, entre outras fontes. A partir da análise das massas destes dois planetas – a massa de Vênus é aproximadamente igual a 81,6% da massa da Terra, enquanto a massa de Marte é de apenas 10,8% da massa da Terra – é possível refletir sobre o motivo pelo qual Vênus reteve uma atmosfera muito densa (com uma pressão atmosférica cerca de 90 vezes maior que a terrestre), enquanto Marte tem uma atmosfera muito rarefeita (com uma pressão atmosférica que é cerca de 1% da terrestre).

Apesar das grandes diferenças de pressão e, portanto, de densidade, as atmosferas de Vênus e de Marte são bastante similares na sua composição (SPOHN; BREUER; JOHNSON, 2014): em ambos os casos, entre 95% e 97% da composição das atmosferas desses dois planetas é constituída por dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂), um conhecido gás estufa (MOSKOWITZ, 2008). Entretanto, como a

³ Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.escapistgames.starchart&hl=pt_BR&gl=US>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁴ Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vitotechnology.StarWalk2Free&hl=en&gl=US>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁵ Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid&hl=en&gl=US>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁶ Disponível em: <<https://stellarium-web.org/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁷ Disponível em: <<https://www.heavens-above.com/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁸ Disponível em: <<https://www.apolo11.com/ceu/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁹ Disponível em: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

pressão atmosférica em Vênus é 4 ordens de grandeza maior que a pressão atmosférica de Marte (LANG, 1992), as altíssimas temperaturas de Vênus, inclusive maiores que as de Mercúrio (o planeta mais próximo do Sol), são explicadas pelo efeito estufa descontrolado existente na atmosfera venusiana.

Por outro lado, aproximadamente 0,04% - ou cerca de 400 ppm (partes por milhão) da atmosfera terrestre (WEST, 2019) é composta por dióxido de carbono, mas este número vem crescendo consideravelmente desde pelo menos meados do século XX, devido à queima de combustíveis fósseis, com a consequente produção de gás carbônico, o que vem provocando o aquecimento da superfície terrestre e o processo de mudanças climáticas pelo qual estamos passando (JUNGES; MASSONI, 2018). Este número vem crescendo anualmente como é possível acompanhar pelos boletins atualizados para as tendências do CO₂ (“*Trends on CO₂*”) do “*Global Monitoring Laboratory - Earth System Research Laboratories*”¹⁰. A consulta destes boletins pode ser usada em situações de sala de aula para refletir sobre a gravidade da velocidade de crescimento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre. Por exemplo, no momento de elaboração deste artigo, o site que fornece estes boletins informava que a média mensal de concentração de CO₂ na atmosfera era de 414,26 ppm em dezembro de 2020 e passou a ser de 416,71 ppm em dezembro de 2021, um crescimento da ordem de 0,5% por ano. Devido à grande sensibilidade da temperatura atmosférica às variações nestas porcentagens, é possível conduzir um debate cientificamente embasado junto a alunos a respeito da urgência na implementação de medidas para evitar o aumento nestas porcentagens. Para uma quantidade grande da população brasileira que vive em cidades costeiras, essa urgência é ainda maior devido à variação do nível do mar.

¹⁰ Disponível em: <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>>. Acesso em: 05 jan. 2022.



Tabela 1 – Dados comparativos entre Vênus, Terra e Marte.

| PROPRIEDADES (VALORES APROXIMADOS) | VÊNUS | TERRA | MARTE |
|---|-------|-------|-------|
| Massa | 0,816 | 1 | 0,108 |
| Temperatura Média da Superfície (°C) | 464 | 15 | -65 |
| Pressão atmosférica (bars) | 92 | 1 | 0,01 |
| Porcentagem de CO ₂ na atmosfera | 96,5% | 0,04% | 95,3% |

Fonte: Autores (2022).

Uma possível fonte de recursos e informações atualizadas sobre mundos potencialmente habitáveis descobertos por telescópios terrestres e especiais é o “*Habitable Exoplanets Catalog*”¹¹ (“Catálogo de Exoplanetas Habitáveis”), desenvolvido pelo *Planetary Habitability Laboratory* (PHL) da Universidade de Porto Rico, em Arecibo, um laboratório virtual de pesquisa e de educação dedicado aos estudos sobre a habitabilidade da Terra, do Sistema Solar e de exoplanetas, com o intuito de mapear o universo habitável pelo desenvolvimento de métodos para medir a habitabilidade dos corpos planetários. Os dados de exoplanetas deste Catálogo são provenientes do “*NASA Exoplanet Archive*”¹² (“Arquivo de exoplanetas da NASA”), que disponibiliza dados públicos sobre a busca e a caracterização de planetas extrassolares e suas estrelas hospedeiras.

O Quadro 1 procura sintetizar alguns dos fatores para habitabilidade de mundos com água líquida superficial, como é o caso da Terra, exemplificando de que modo a influência de cada fator interfere na habitabilidade de um dado planeta. Ela foi inspirada em uma tabela similar existente no trabalho “*Habitability: A Review*” (COCKELL *et al.*, 2016) e pode, eventualmente, ajudar professores, que

¹¹ Disponível em: <<https://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

¹² Disponível em: <<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

pretendam trabalhar com temas de Astrobiologia, a selecionar os conteúdos e a estruturar suas próprias sequências didáticas.



Quadro 1 – Exemplo de fatores que podem influenciar as condições para a habitabilidade contínua de um corpo planetário com água líquida superficial.

| FATORES PARA A HABITABILIDADE | EXEMPLO DE INFLUÊNCIA NA HABITABILIDADE DE UM MUNDO COM ÁGUA LÍQUIDA SUPERFICIAL |
|-------------------------------|--|
| FATORES PLANETÁRIOS | |
| Massa Planetária | A massa do planeta precisa ser suficiente para reter os gases necessários para o aquecimento por efeito estufa e para que exista água líquida |
| Composição Atmosférica | É necessário existir uma quantidade suficiente de gases de efeito estufa para que a água se mantenha líquida na superfície. Entretanto, altas concentrações de gases estufa causam um efeito estufa descontrolado que pode ser prejudicial para a vida. É necessária a presença de oxigênio para que ocorra vida multicelular. |
| Tectônica de placas | A falta de movimento de placas tectônicas (atividade geológica) desliga o ciclo de carbonato-silicato, influenciando a temperatura da superfície e impactando na presença de água líquida. |
| Campo Magnético | Um campo magnético insuficiente pode resultar em perda precoce de atmosfera, algo danoso para a vida, enquanto, um campo magnético forte pode aumentar a longevidade da atmosfera e, portanto, favorecer as condições para a habitabilidade. |
| FATORES ASTRONÔMICOS | |
| Características Orbitais | A obliquidade planetária pode influenciar a habitabilidade, pela produção de estações. Uma alta excentricidade orbital pode causar variações climáticas extremas. A combinação de algumas características orbitais, tais como alta excentricidade e bloqueio (acoplamento) de marés pode levar o planeta a se deslocar para fora da zona habitável (mais especificamente, para dentro do limite interno da zona habitável), um ambiente adverso para a vida. |
| Tipo de Estrela | O tipo de estrela hospedeira pode influenciar na dispersão precoce da atmosfera, bem como na longevidade da zona habitável. |
| Presença de uma Lua | A falta ou presença de uma Lua provavelmente não é crítica para a presença de condições habitáveis em um planeta, mas pode influenciar nas variações climáticas extremas causadas por variações de obliquidade. |
| Eventos de impacto | Grandes impactos frequentes de asteroides que esterilizam os oceanos podem impedir o surgimento de vida. Impactos frequentes podem criar uma pressão evolucionária pela seleção de organismos mais tolerantes a altas temperaturas e dificultar a produção de oxigênio atmosférico a partir da fotossíntese. |

Fonte: Autores (2022), inspirado em Cockell et al. (2016).

Pela complexidade envolvida no problema, pensar a respeito dos fatores que podem influenciar positiva ou negativamente as condições para a

habitabilidade de um corpo planetário com água líquida superficial exige a mobilização de saberes e conhecimentos de diferentes campos disciplinares, que precisam ser articulados de forma interdisciplinar para conferir consistência aos argumentos apresentados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além da própria Biologia, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) já se perguntava, em meados do século XX, em sua curta obra clássica “O que é vida?” (SCHRÖDINGER, 1997), como poderiam os eventos ocorridos nos limites de um organismo vivo, por uma certa duração de tempo, ser investigados pela Física e pela Química. Este desafio de natureza interdisciplinar é, em muitos sentidos, enfrentado por pesquisadores da área da Astrobiologia, atualmente, nos diferentes processos de investigação em que estão envolvidos.

Apesar de ser ainda desconhecida por parte de muitos professores da educação básica, a Astrobiologia tem um grande potencial de ser usada como eixo integrador para a aprendizagem de uma grande gama de conceitos científicos relacionados às diferentes disciplinas das ciências naturais, com uma ênfase especial para a física, a biologia e a química. Assim é importante, capacitar professores em formação (licenciandos) e professores em exercício, sobretudo aqueles formados nestas três subáreas, para que se apropriem de conhecimentos e metodologias dessa nova área e se sintam habilitados para estruturar sequências didáticas e ministrar aulas envolvendo tópicos de Astrobiologia.

Por ser um campo em desenvolvimento, o trabalho com temas de Astrobiologia – tanto investigativo, quanto educacional – tem um forte caráter exploratório, devido ao fato de existirem muitas questões em aberto e sobre as

quais não há consenso da comunidade científica. Isso é natural, mas não se trata de uma especulação gratuita, mas de uma espécie de sondagem e análise de diversos cenários possíveis e das consequências advindas destes contextos, algo que necessita do uso da imaginação e da criatividade que são características intrínsecas à descoberta e que, exatamente por esse motivo, podem conferir vivacidade e organicidade ao processo de aprendizagem. Adicionalmente, como trata-se de uma área em franco desenvolvimento, é necessário sempre procurar informações e conhecimentos atualizados para fundamentar o trabalho didático: algumas das fontes e recursos apontados neste trabalho podem ser úteis para isto.

O objetivo deste artigo foi investigar e discutir sobre as possibilidades interdisciplinares do trabalho didático com tópicos relacionados à área da astrobiologia. Tendo em vista a abordagem desenvolvida, o objetivo foi atingido, na medida em que foram apresentados conhecimentos, informações e referências que podem colaborar para implementar atividades de educação científica em sala de aula.

REFERÊNCIAS

- ANGERHAUSEN, Daniel *et al.* An astrobiological experimental to explore the habitability of tidally locked M-dwarf planets. **Proceedings - IAU Symposium 293**, Formation, Detection, and Characterization of Extrasolar Habitable Planets, 2012. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/proceedings-of-the-international-astronomical-union/article/an-astrobiological-experiment-to-explore-the-habitability-of-tidally-locked-mdwarf-planets/5E3B26B94803791EC54B9C98A4805ACC>>. Acesso em: 03 jan. 2022.
- ASHCROFT, Frances. **A Vida no Limite**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001. 315 p.
- BALL, Philip. The importance of water. In: SMITH, Ian W.M.; COCKELL, Charles S.; LEACH, Sydney (Ed.). **Astrochemistry and Astrobiology**. Heidelberg, Deutschland: Springer, 2013. 349 p.
- BERNARDES, Luander. **Exoplanetas, Extremófilos e Habitabilidade**. 2013. 206 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14131/tde-21062013-162408/pt-br.php>>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- BLUMBERG, Baruch S. The Nasa astrobiology institute: early history and organization. **Astrobiology**, v. 3, n. 3, p. 463-470, 2003. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.405.1460&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 01 jan. 2022.
- COCKELL, C. S. *et al.* Habitability: A Review. **Astrobiology**, v. 16, n. 1, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/289528782_Habitability_A_Review>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- FAZENDA, Ivani (Org.). **O que é interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008. 199 p.
- FARIAS, Maria Licia de Lima; BARBOSA, Marco Aurélio A. Integrando o ensino de astronomia e termodinâmica: explorando a zona habitável no diagrama de fases da água. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, e4402, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0299>>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- FENNER, Frank *et al.* Structure and Composition of Viruses. **Veterinary Virology**, p. 3-19, 1987. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122530555500050?via%3DiHub>>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- GALANTE, Douglas *et al.* **Astrobiologia: Uma Ciência Emergente**. São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo / Tikinet, 2016. Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/astrobiologia/sites/default/files/astrobiologia.pdf>>. Acesso em: 01 jan. 2022.
- GRIBBIN, John. **Alone in the Universe: Why Our Planet Is Unique**. New York, U.S.A.: Wiley, 2011. 219 p.
- GUNNARSDÓTTIR, Edda Lína. **The Earth's Magnetic Field**. Reykjavik, Iceland: University of Iceland,

2012. Disponível em:

<https://skemman.is/bitstream/1946/12177/1/the_earths_magnetic_field.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

HANSLMEIER, Arnold. **Water in the Universe**. New York, U.S.A.: Springer, 2011. 466 p.

HARTOGH, Paul *et al.* Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P/Hartley 2. **Nature**, v. 478, p. 218–220, 2011. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nature10519>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

HOUGHTON, R. A. The Contemporary Carbon Cycle. In: DREVER, J. I.; HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Eds.). **Treatise on Geochemistry**, v. 8, p. 473-512. Oxford, U.K.: Elsevier, 2003.

JUNGES, Alexandre Luis; MASSONI, Neusa Teresinha. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. 455–491, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4761>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

LANG, Kenneth R. **Astrophysical Data: Planets and Stars**. New York, U.S.A.: Springer-Verlag, 1992. 937 p.

LISSAUER, Jack J. Habitable zone. In: **Encyclopedia Britannica**. 2018. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/habitable-zone>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

LEWIN, Sarah. **Life on Earth Can Thank Its Lucky Stars for Jupiter and Saturn**. 2016. Disponível em: <<https://www.space.com/31577-earth-life-jupiter-saturn-giant-impacts.html>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

LOPES, Daniel Ordine Vieira; SANT'ANA, Geovana Almeida M.; GANDARA, Lemuel da Cruz. Astrobiologia como um tema motivador interdisciplinar. **Anais da XVII Semana da Licenciatura**, Instituto Federal de Goiás, Campus Jataí, 2021. Disponível em: <<http://revistas.ifg.edu.br/semlic/article/view/1127>>. Acesso em: 01 jan. 2022.

MAJAES, Daniel J. **Concerning the Distance to the Center of the Milky Way and its Structure**. ArXiv, 2010. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1002.2743.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MORGAN, Elfed. The Moon and Life on Earth. In: BARBIERI, Cesare; RAMPAZZI, Francesca. **Earth-Moon Relationships**. Proceedings of the Conference held in Padova, Italy at the Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti, p. 279-290, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-0800-6_25>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MOSKOWITZ, Clara. **Venus and Mars: Surprising similarities found**. NBC News, 2008. Disponível em: <<https://www.nbcnews.com/id/wbna23675583>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MOTTL, Michael J. *et al.* Water and astrobiology. **Geochemistry**, v. 67, n. 4, p. 253-282, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009281907000311?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

PEREIRA, Rodrigo. Método ativo: técnicas de problematização da realidade aplicada à Educação Básica e ao Ensino Superior. **Anais do VI Colóquio Internacional “Educação e**



Contemporaneidade", UFS, São Cristóvão (SE), 2012. Disponível em:

<<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10116/47/46.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

RODRIGUES, Fabio *et al.* Astrobiology in Brazil: early history and perspectives. **International Journal of Astrobiology**, v. 11, n. 4, p. 189–202, 2012. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/232748949_Astrobiology_in_Brazil_Early_history_and_perspectives>. Acesso em: 01 jan. 2022.

ROSA, Marcia Nogueira Melo da *et al.* A astrobiologia em consonância com a BNCC: possibilidades de aplicação no ensino fundamental II. **Caderno de Física da UEFS**, v. 18, n 2, 2602, 2020.

Disponível em:

<http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol18n2/S6Artigo02_Astrobiologia_e_Origem_da_Vida.pdf>

Acesso em: 02 jan. 2022.

SALAMA, Farid. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: An Interview with Dr. Farid Salama.

Astrobiology Magazine, 2000. Disponível em:

<<https://web.archive.org/web/20080620075201/http://library.thinkquest.org/C003763/index.php?page=interview07>>. Acesso em: 06 jan. 2021.

SCHRÖDINGER, Erwin. **O que é vida?** O aspecto físico da célula viva seguido de Mente e Matéria e Fragmentos Autobiográficos. São Paulo: Editora da Unesp, 1997. 216 p.

SPOHN, Tilman; BREUER, Doris; JOHNSON, Torrence V. **Encyclopedia of the Solar System**.

Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2014. 1280 p.

STALEY, James T. Astrobiology, the transcendent science: the promise of astrobiology as an integrative approach for science and engineering education and research. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 14, p. 347–354, 2003. Disponível em:

<<http://www3.mbari.org/earth/2008/staley.pdf>>. Acesso em: 03 jan.2022.

TYRRELL, Toby. Chance played a role in determining whether Earth stayed habitable.

Communications Earth & Environment, v. 1, 61, 2020. Disponível em:

<<https://www.nature.com/articles/s43247-020-00057-8>>. Acesso em: 03 jan. 2021.

VON EHRENFRIED, Manfred. **From Cave Man to Cave Martian: Living in Caves on the Earth, Moon and Mars**. New York, U.S.A.: Springer, 2019. 320 p.

WEST, Jason. **CO2 Makes Up Just 0.04% of Earth's Atmosphere**. Here's Why Its Impact Is So Massive. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencealert.com/co2-is-only-a-tiny-part-of-our-atmosphere-but-it-has-a-huge-influence-here-s-why>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

XIE, Ning *et al.* Inorganic Salt Hydrate for Thermal Energy Storage. **Applied Sciences**, v. 7, 1317, 20217. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/321910400_Inorganic_Salt_Hydrate_for_Thermal_Energy_Storage>. Acesso em: 03 jan. 2021.

ZHANG, Xi *et al.* Water's phase diagram: From the notion of thermodynamics to hydrogen-bond cooperativity. **Progress in Solid State Chemistry**, v. 43, n. 3, p. 71-81, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079678615000035>>. Acesso em: 03 jan. 2022.