

A BRUXA

UMA REVISTA DE BIOLOGIA CULTURAL

www.revistaabruxa.com

ISSN 2594-8245

Volume 8 novembro 2024



Meurer, J.C.; Andrade, M.B.B.; Mayato, B. & Mendonça Jr, M.S. 2024.
Astrobiologia cultural: explorando relações de vida potencial em cenários
extraterrestres presentes em obras de ficção científica
..... **A Bruxa 8(13): 163-186.**



Astrobiologia cultural: explorando relações de vida potencial em cenários extraterrestres presentes em obras de ficção científica

Juliana Campos Meurer^{1*}; Maria Beatriz Barbosa de Andrade²; Bruna Mayato^{3,4} & Milton de Souza Mendonça Jr.¹

1- Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

2- Departamento de Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG

3- Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

4- Espaço Ciência Viva, Rio de Janeiro, RJ

*juliana.meurer@ufrgs.br

Resumo

Explorar a interseção da astrobiologia - ciência que investiga a origem, evolução e distribuição da vida no universo - com a cultura popular e a educação pode ser útil para uma melhor divulgação e popularização dessa ciência multidisciplinar. Nesse sentido, a ficção científica, ao explorar a temática da vida extraterrestre, aborda uma variedade de conceitos fundamentais em astrobiologia, como a habitabilidade planetária e a adaptação da vida a ambientes extremos. Adotando uma abordagem de "astrobiologia cultural", analisamos sete planetas fictícios de franquias populares de ficção científica, sendo eles os planetas Mann (INTERESTELAR), Dagobah, Kamino e Sullust (STAR WARS), Arrakis (DUNA), Cybertron (TRANSFORMERS) e Vulcano (STAR TREK). Exploramos as características desses planetas e especulamos quais formas de vida terrestres, especialmente extremófilas, poderiam existir em cada um deles. Investigamos como esses organismos interagiriam com seus ambientes e identificamos ecossistemas terrestres que poderiam servir como análogos astrobiológicos para os diferentes planetas fictícios. Propusemos o uso desses planetas como instrumentos ilustrativos para exemplificar conceitos chave em astrobiologia, como "habitabilidade" e "ambientes análogos". Este estudo demonstra como a junção entre ficção científica e astrobiologia pode enriquecer e inovar a educação científica, proporcionando abordagens inovadoras que tornam o aprendizado cada vez mais estimulante e acessível.

Palavras-chave: cinema; cultura pop; educação; extremófilos; planetas fictícios; vida extraterrestre.

Abstract

Cultural astrobiology: Exploring potential life relationships in extraterrestrial scenarios depicted in science fiction

Exploring the intersection of astrobiology - the science that investigates the origin, evolution, and distribution of life in the Universe - with popular culture and education can be useful for better dissemination and popularization of this multidisciplinary science. In this context, science fiction, by delving into the theme of extraterrestrial life, addresses a variety of fundamental concepts in astrobiology, such as planetary habitability and adaptation of life to extreme environments. Adopting a "cultural astrobiology" approach, we analyze seven fictional planets from popular science fiction franchises: Mann (INTERSTELLAR), Dagobah, Kamino, and Sullust (STAR WARS), Arrakis (DUNE), Cybertron (TRANSFORMERS), and Vulcan (STAR TREK). We explore the characteristics of these planets and speculate on what forms of terrestrial life, especially extremophiles, could exist on each of them. We investigate how these organisms would interact with their environments and identify terrestrial ecosystems that could serve as astrobiological analogs for the different fictional planets. We propose the use of these planets as illustrative tools to exemplify key concepts in astrobiology, such as "habitability" and "analog



Environments". This study demonstrates how the combination of science fiction and astrobiology can enrich and innovate scientific education, providing innovative approaches that make learning increasingly stimulating and accessible.

Keywords: cinema; education; extraterrestrial life; extremophiles; fictional planets; pop culture.

Introdução

A astrobiologia é a ciência que busca compreender a origem, evolução, futuro e distribuição da vida no universo, propondo questionamentos como "há vida em outros planetas?" e "como a vida se originou na Terra?" (BLUMBERG, 2003a). Para investigar assuntos tão complexos, a astrobiologia requer a colaboração de várias áreas do conhecimento, como astronomia, biologia, geologia, química, filosofia e engenharia espacial. Sua natureza interdisciplinar instiga a curiosidade de pessoas de todas as idades, o que a torna uma ferramenta com grande potencial para o ensino de Ciências (STALEY, 2003).

No ambiente escolar, por exemplo, a astrobiologia tem potencial de promover um ambiente integrador, pois permite a colaboração entre professores de diferentes disciplinas e também promove uma reflexão sobre a natureza da ciência e suas relações com outras áreas, como, por exemplo, a filosofia (MAYATO, 2017; CHEFER & OLIVEIRA, 2022). No entanto, conteúdos importantes para a astrobiologia na Educação Básica, como os organismos adaptados a condições e ambientes extremos (extremófilos), ainda são abordados de forma deficiente em livros didáticos (SANTOS & BRAGA, 2019). Portanto, fazem-se necessárias maneiras criativas e instigantes, que explorem abordagens e recursos inovadores, para introduzir os estudantes a essa temática. Nesse contexto, a ficção científica é um recurso didático particularmente relevante por capturar a imaginação dos alunos de forma a servir como uma potencial porta de entrada para um interesse mais agudo na ciência (KIMURA & PIASSI, 2018).

Embora o termo "astrobiologia" tenha sido utilizado pela primeira vez apenas no século 20 (BLUMBERG, 2003b), a ideia de vida fora da Terra vem influenciando a cultura pop ao longo de muitos séculos. Conforme o interesse pela vida extraterrestre crescia durante a era da exploração espacial, a ficção científica ocupava uma posição central como fonte de representação de temas como viagem espacial e encontros com seres extraterrestres (LATHAM & SEED, 2014). A ideia de vida em Marte, por exemplo, foi cultivada no imaginário popular por anos, até que as sondas Viking da NASA foram enviadas ao planeta na década de 1970 e revelaram uma superfície fria, desértica e estéril, gerando uma decepção compartilhada entre a comunidade científica e o público em geral (LAUNIUS, 2012). Após esse episódio, a pesquisa em astrobiologia foi impulsionada pela percepção de que as características da vida terrestre devem guiar a busca por vida fora da Terra. Houve forte ênfase ao estudo de ambientes terrestres extremos com condições comparáveis às de outros planetas (ambientes análogos), onde são encontrados organismos extremófilos, que são capazes de sobreviver em condições extremas, como temperatura, pressão, salinidade e radiação elevadas (LÉVEILLÉ, 2011; HARRISON *et al.*, 2013). O estudo desses organismos refina nossa compreensão dos limites da vida, auxiliando na busca por vida em ambientes extraterrestres. Promover discussões sobre extremófilos e ambientes análogos no contexto da educação pode proporcionar aos estudantes uma compreensão maior sobre a possibilidade extraterrestre, satisfazendo uma curiosidade historicamente despertada pela ficção científica.

Ao longo da história da ficção científica, inúmeros autores desenvolveram uma vasta gama de planetas para ambientar suas narrativas, variando desde mundos inteiramente oceânicos até desertos escaldantes e pântanos tropicais. Esses planetas ficcionais exibem uma rica diversidade de condições ambientais, muitas delas análogas a ecossistemas encontrados na Terra. Embora SOUZA & HOFFMAN (2010) tenham sugerido que os ecossistemas desses mundos imaginários poderiam ser utilizados como ferramenta didática para explorar ideias sobre a morfofisiologia de seres extraterrestres e habitabilidade no Universo, atualmente não existem propostas didáticas que integrem o estudo dos organismos extremófilos e dos ecossistemas terrestres nesse contexto.



Dessa forma, este trabalho explora o uso da ficção científica no ensino de Ciências (para mais trabalhos nesse enquadramento, ver CZERNEDA, 2006; ÖZDEMİR & ÖZTÜRK, 2023), com o objetivo de analisar ambientes de planetas fictícios de obras populares do gênero e explorar quais formas de vida seriam viáveis nessas condições. Além de estabelecer uma ponte entre astrobiologia, cultura pop e educação, o presente estudo visa oferecer aos educadores uma ferramenta pedagógica que integra a astrobiologia a temas do ensino básico. Dessa forma, é possível enriquecer o currículo escolar ao introduzir conteúdos relevantes e cativantes, despertando o interesse dos alunos e promovendo uma compreensão mais ampla da biodiversidade terrestre (e possivelmente extraterrestre) a partir de uma inovadora proposta de “astrobiologia cultural”.

A ideia de uma “biologia cultural” começa a se delinear na década de 1980, com a proposta pioneira de entomologia cultural (HOGUE, 1980). Para o autor dessa proposta, dentro da cultura existe um grupo de atividades que envolvem ações para “nutrir a mente e a alma”, como as artes, a religião, a filosofia, entre outros. A entomologia cultural seria a influência que os insetos têm nesse aspecto da cultura humana. Desde então, a ideia passou a se expandir para outras áreas da biologia: a zoologia cultural surge como o estudo de elementos zoológicos em diferentes manifestações culturais (DA-SILVA & COELHO, 2016), a botânica cultural sucede a ideia de zoologia cultural ao procurar pelas intersecções entre os representantes do reino Plantae e a cultura humana (DA-SILVA, 2018), e a funga cultural complementa essa abordagem ao estudar a presença dos fungos nas manifestações culturais (FORTUNA, 2021). Esse conceito geral pode repercutir em todas as áreas das ciências da natureza. Com base nesse histórico, propomos a astrobiologia cultural enquanto estudo das manifestações de ideias astrobiológicas nas produções culturais.

Metodologia

Foram analisados planetas fictícios presentes em obras cinematográficas de ficção científica para propor ambientes análogos no planeta Terra e hipotetizar quais formas de vida terrestre poderiam sobreviver e prosperar nesses cenários fictícios, de acordo com suas características físico-químicas. A análise também foi contextualizada no âmbito do ensino de Ciências.

Priorizou-se a escolha de obras de ficção científica bastante difundidas, que tenham ganhado maior popularidade graças ao cinema e que sejam de fácil identificação pelo público consumidor da cultura pop. A presença no cinema como critério de escolha justifica-se pela popularização atual e pelo meio audiovisual usado, que permite uma boa visualização dos ambientes retratados. Dessa forma, as franquias de filme e sagas escolhidas foram INTERESTELAR, STAR WARS, DUNA, TRANSFORMERS e STAR TREK.

A seleção dos planetas baseou-se em suas características geológicas, químicas e físicas apresentadas dentro de cada obra de ficção científica. Os planetas representam uma grande diversidade de mundos, incluindo planetas desérticos, gelados, pantanosos e oceânicos, o que possibilitou a investigação de múltiplos aspectos astrobiológicos neste trabalho. As características dos planetas foram obtidas em fontes como as próprias obras literárias, roteiros de filmes, fóruns on-line e artigos científicos/livros de análise de conteúdo. Assim, os planetas escolhidos foram Mann (INTERESTELAR), Dagobah, Kamino, Sullust (STAR WARS), Arrakis (DUNA), Cybertron (TRANSFORMERS) e Vulcano (STAR TREK).

Após a seleção dos planetas, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre organismos extremófilos e ambientes análogos astrobiológicos. Essa revisão permitiu a conjectura a respeito das potenciais formas de vida e interações ecológicas que poderiam existir nos mundos escolhidos, bem como a identificação de localidades terrestres com condições semelhantes às apresentadas nos planetas fictícios em questão. Tais elementos também foram analisados a partir de um contexto educativo, e foram buscadas propostas didáticas sobre os temas chave a serem trabalhados no contexto de cada planeta fictício a partir de pesquisas no GOOGLE SCHOLAR como “[temática chave] + ensino” e “[temática chave] + sala de aula”.



Resultados e discussão

INTERESTELAR

INTERESTELAR, cujo lançamento aconteceu em 2014, é um filme sobre a busca por planetas habitáveis. Em um futuro distópico com o planeta Terra praticamente devastado, a única solução para a preservação da espécie humana é a colonização de outros planetas. Um diferencial do filme é o envolvimento do físico teórico norte-americano Kip Thorne, o que nos ajuda a entender a ficção científica como uma arte com alma científica (KIMURA & PIASSI, 2018). O longa-metragem foi premiado com o Oscar e o BAFTA de Melhores Efeitos Visuais, além de ter sido um grande sucesso nos cinemas ao redor do mundo. Entre viagens espaciais e temporais, fenômenos astrofísicos e lições sobre as relações humanas, a trama de INTERESTELAR é baseada em uma única pergunta: “existem outros planetas capazes de suportar a vida humana?”. Aqui, extrapolamos essa pergunta e debateremos como a vida poderia existir e se comportar em um importante planeta do filme: o planeta Mann.

Mann é um planeta gelado. Logo quando os personagens de INTERESTELAR chegam no planeta (Figura 1), precisam atravessar nuvens feitas de gelo que evaporam rapidamente. É bastante provável que essas nuvens sejam, na verdade, uma mistura de “gelo seco” (dióxido de carbono completamente congelado) e vapor de sublimação (THORNE, 2014). Já o gelo em que a equipe pouso sua nave é apenas água congelada - não existem evidências de que exista uma superfície rochosa no planeta (apenas no roteiro de 2008, em que existem “praias”; NOLAN, 2008). Sabe-se que a temperatura superficial deve ser menor que 0°C (já que a água está congelada).



Figura 1. Superfície do planeta Mann. Fonte: INTERESTELAR (2014).

Na versão de 2008 do roteiro do filme, a equipe examina o “subsolo” do planeta e descobre que a vida existe lá. Além disso, encontram presos dentro de blocos de gelo alguns microrganismos que se nutrem de raios-X e emitem luz visível (NOLAN, 2008). Esse tipo de vida não existe na Terra, entretanto, existem organismos que conseguem permanecer vivos mesmo quando congelados a partir da redução extrema de seus metabolismos a partir do processo de criptobiose (MØBJERG & NEVES, 2021). Um exemplo emblemático desse caso é o do tardígrado, animal também conhecido como urso-d’água. O filo Tardigrada faz parte do táxon Panarthropoda, que agrupa Onychophora, Tardigrada e Arthropoda (RUPPERT *et al.*, 2005), sendo o último filo um tópico com diversas propostas de ensino publicadas (DA-SILVA & COELHO, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2023) e com representantes comumente encontrados no cotidiano das pessoas. Incluir os tardígrados em atividades didáticas, como já proposto pela própria Agência Espacial Europeia (ESA, 2019), pode fazer com que os estudantes adquiram um olhar científico para a vida e seus limites. Além disso, esses animais já foram apresentados em sala de aula no contexto de ensino de astrobiologia na escola (MACIEL COSTA, 2021). O potencial de criptobiose desses animais é



tão proeminente que um tardígrado preso em um bloco de musgo congelado a -20°C por mais de 30 anos conseguiu ser ressuscitado (TSUJIMOTO *et al.*, 2016). Os blocos de gelo do planeta Mann certamente não conteriam uma comunidade biológica viva, mas talvez alguns tardígrados terrestres em estado de criptobiose poderiam existir lá.

Um passo inicial para entender os possíveis ecossistemas existentes em Mann é mencionar que o filme foi gravado em Svínafellsjökull, uma geleira localizada no Parque Nacional de Vatnajökull, na Islândia (Figura 2). Estudos realizados nesse parque, como o de VANNIER *et al.* (2023), procuraram entender a vida existente nos lagos subglaciais da geleira de Vatnajökull. Esses lagos são formados quando abaixo das massas de gelo existe calor geotermal, alta pressão (provocada pelo próprio gelo) e/ou alta salinidade, sendo os dois últimos fatores ligados às propriedades coligativas da água, assunto esse amplamente abordado nas aulas de Física e Química do ensino médio. Tal tipo de sistema parece existir em satélites gelados de Júpiter (Europa) e Saturno (Encélado) e poderia muito bem existir no planeta Mann. No estudo mencionado, o que se descobriu nos lagos de Vatnajökull foi uma comunidade microbiana quimioautotrófica de baixa diversidade (apenas vinte grupos taxonômicos encontrados) e metabolismos considerados incomuns. O planeta Mann não se mostrou inadequado apenas para a vida humana, mas também para a biodiversidade, dado o pequeno tamanho das comunidades microbianas encontradas em seu principal ambiente análogo. É provável que a vida lá esteja limitada a comunidades de organismos psicrotolerantes ou psicrófilos (extremófilos que têm temperatura ótima de crescimento em baixas temperaturas), que possuem estruturas corporais e fisiologia adaptadas para esse tipo de ambiente.



Figura 2. Geleira de Svínafellsjökull, local onde o filme INTERESTELAR foi gravado. Fonte: Guillaume Baviere, imagem retirada de: [commons.wikimedia.org/wiki/File:Iceland_2008-05-26_\(2617898550\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iceland_2008-05-26_(2617898550).jpg).

Entretanto, o debate sobre a habitabilidade do planeta Mann vai muito além do ecossistema que existe no Parque em que ele foi filmado. Aqui, é válido discutir sobre a própria ecologia da criosfera (BOETIUS *et al.*, 2015), ou seja, processos ecológicos existentes nas regiões da Terra compostas por água no estado sólido, o que corresponde a cerca de 20% do nosso planeta. No caso de Mann, que é coberto integralmente por gelo, sua criosfera corresponde à totalidade do planeta. Ao olhar para o funcionamento da criosfera terrestre e sua relação com a vida, podemos fazer boas reflexões sobre a biosfera do planeta Mann. Estudos ecológicos mostram que zonas subglaciais (embaixo de geleiras) são ricas em atividade biogeoquímica, e que a produtividade primária do ecossistema é baseada principalmente em seres quimiolitototróficos (REN *et al.*, 2019). A maior parte da biomassa da



criosfera terrestre é composta por bactérias e arqueas. Isso poderia significar que encontrar plantas ou animais (como o tardígrado) no planeta Mann seria um evento raro. No entanto, mesmo com pouca diversidade relativa de espécies, interações como parasitismo (BELLAS *et al.*, 2015) estão presentes há bastante tempo em ambientes glaciais - certamente o planeta contaria com a presença de vírus, que interagem com todas as formas de vida presentes nessas comunidades microbianas. Mann pode parecer um planeta completamente inóspito, mas na verdade ele é capaz de sustentar uma vida microscópica tão fascinante quanto os organismos que parecem mais comuns. A discussão sobre a criosfera é uma temática rica para ser abordada em sala de aula, especialmente em disciplinas como Geografia, em que pode vir acompanhada de debates relevantes sobre mudanças climáticas (PETSCH *et al.*, 2019), destacando a importância de explorar a vida em ambientes desafiadores como a criosfera terrestre e, por analogia, o planeta Mann.

Por fim, é válido lembrar que o próprio planeta Terra já teve um aspecto semelhante ao planeta Mann. Uma hipótese crucial na história do nosso planeta é a da Terra Bola de Neve, ou "Snowball Earth" em inglês, como é comumente chamada. Essa teoria propõe a ocorrência de grandes glaciações durante o Neoproterozóico (entre 1 bilhão e 542 milhões de anos atrás) (SCHRAG *et al.*, 2002). A importância desses eventos é tão significativa que deu origem ao nome do período geológico Criogeniano (850-635 milhões de anos atrás), que abrange dois episódios de Terra Bola de Neve e um período interglacial (HOFFMAN *et al.*, 2017). Esses episódios são denominados "bola de neve" devido à crença de que todo o planeta Terra poderia ter estado coberto de gelo, sem corpos de água líquida expostos à atmosfera, inclusive nas regiões tropicais, que atualmente são lembradas pelas suas altas temperaturas. Mesmo assim, a Terra não era considerada inóspita nesse período, contando com a presença de bactérias, algas e outros organismos eucariontes (BROCKS *et al.*, 2017). Assim, até mesmo um planeta completamente congelado, como é o caso de Mann, pode encontrar fortes paralelos com a Terra. Apresentar essa hipótese, que carrega evidências bastante sólidas, também abre caminhos para trabalhar mudanças climáticas, além de eventos marcantes na evolução da vida e na própria história geológica da Terra. A exploração de temáticas paleobiológicas em sala de aula tem o potencial de expandir consideravelmente o conhecimento e as perspectivas dos alunos, e já existem propostas de atividades nesse sentido na literatura contemporânea, como as encontradas em ZABINI & SOUZA (2016).

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: tardígrados, extremófilos, vida em ambientes gelados, propriedades coligativas da água, criosfera, Terra Bola de Neve, mudanças climáticas.

STAR WARS (GUERRA NAS ESTRELAS)

STAR WARS é um universo fictício que se estende por três trilologias cinematográficas, livros, histórias em quadrinhos e séries de televisão. A história se passa em uma galáxia fictícia muito distante da Via Láctea, onde existe uma ampla variedade de planetas e sistemas estelares e uma enorme diversidade de formas e vida. A chamada "trilogia clássica", que se refere aos três primeiros filmes, lançados entre 1977 e 1983, tem início com dois dróides sendo enviados para Tatooine, um planeta desértico, e final com uma grande batalha que ocorre em Endor, uma lua repleta de florestas que orbita um gigante planeta gasoso. Ao longo da trilogia clássica e em todos os outros filmes, quadrinhos e séries que seguiram, uma enorme diversidade de mundos com condições e criaturas diferentes nos foram apresentadas.

Dagobah (Figura 3) aparece pela primeira vez no filme STAR WARS: EPISÓDIO V – O IMPÉRIO CONTRA ATACA (de 1980), como um planeta quente, úmido e pantanoso onde Luke Skywalker e R2-D2 fazem um pouso forçado. É retratado como um mundo isolado e místico, servindo de refúgio para o Mestre Jedi Yoda e local de treinamento para Luke. Repleto de mangues, lagoas e cavernas, seu clima é caracterizado por uma estação seca e uma estação chuvosa bem definidas. Durante a seca, as regiões mais elevadas tornam-se quentes demais, fazendo com que as formas de vida que habitam o planeta migrem para as



áreas de menor altitude, onde persistem resquícios do enorme pântano que caracteriza a região chuvosa (Figura 4). Uma vez que o planeta se afasta o suficiente da estrela que orbita, as chuvas tornam a ocorrer, inundando as áreas menos elevadas e tornando as áreas de maior altitude novamente habitáveis.



Figura 3. O planeta Dagobah. Fonte: STAR WARS: EPISÓDIO III – A VINGANÇA DOS SITH (de 2005).



Figura 4. A superfície pantanosa de Dagobah. Fonte: STAR WARS: EPISÓDIO VI – O RETORNO DE JEDI (de 1983).

Um ecossistema terrestre com características muito similares às de Dagobah é o Parque Nacional Everglades, na Flórida, que representa uma vasta área pantanosa de água doce ao sul do Lago Okeechobee (Figura 5). De forma análoga ao misterioso planeta de Dagobah, os Everglades são uma vasta e remota região selvagem que tem fascinado naturalistas e aventureiros por gerações. Em ambos os ecossistemas, há um clima quente e úmido, com uma neblina que permeia as paisagens pantanosas. Há também, uma abundante vegetação que oferece habitat e sustento para uma diversidade de vida selvagem. Até mesmo a fauna fictícia presente em Dagobah é representada por seres como aligatores-do-pântano, análogos aos aligatores-americanos [*Alligator mississippiensis* (Daudin, 1802) – Crocodylia: Alligatoridae] encontrados em abundância nos Everglades, e pítons-de-dagobah, análogas às pítons-birmanesas (*Python bivittatus* Kuhl, 1820 – Squamata: Pythonidae), estabelecidas hoje como espécie invasora no parque.





Figura 5. A superfície pantanosa do Parque Nacional do Everglades. Fonte: NPSPPhoto, S. Cotrell/domínio público.

No contexto da astrobiologia em sala de aula, é possível conjecturar a respeito de quais espécies terrestres poderiam habitar o ambiente de Dagobah utilizando os Everglades como parâmetro. Certamente, como se trata de um ambiente pantanoso e tropical, as condições físicas e químicas de Dagobah provavelmente permitiriam a sobrevivência de uma ampla gama de espécies dos três domínios da árvore da vida. Porém, notavelmente, em um ambiente pantanoso com o de Dagobah, esperaríamos encontrar organismos metanogênicos, que são arqueias anaeróbicas cujo crescimento se dá pela produção do gás metano (BUAN, 2018). Na Terra, áreas alagadas como o Everglades são responsáveis por cerca de 20% das emissões anuais globais de metano, e essas regiões suportam grupos diversos de organismos metanogênicos (BAE *et al.*, 2018).

Alguns conceitos diferentes podem ser trabalhados em sala de aula utilizando-se da ideia da presença de organismos metanogênicos em Dagobah. Ao ensinar o conteúdo de ciclos biogeoquímicos, por exemplo, podemos trazer as ideias de que a metanogênese realizada por esses organismos representa a maior fonte biogênica de metano na Terra, sendo, portanto, muito relevantes para o ciclo global do carbono (VANWONTERGHEM *et al.*, 2016). Nesse contexto, ideias sobre as mudanças climáticas também poderão ser trabalhadas, levando em conta que o metano é um gás de efeito estufa muito potente. Ideias sobre extremofilia também podem ser introduzidas a partir dos organismos metanogênicos, uma vez que esses organismos podem se adaptar aos mais diversos extremos ambientais, havendo uma série de ambientes extraterrestres onde as condições físico-químicas possivelmente permitiriam sua sobrevivência, como Marte e Encélado (HEGNER, 2020).

Indo além dos organismos metanogênicos, Dagobah também se destaca por apresentar um ambiente semelhante ao da Terra no Período Carbonífero. Nesse período geológico, "pântanos de carvão", vastas florestas pantanosas ricas em matéria orgânica, predominavam nas regiões tropicais da Terra (DIMICHELE, 2001) Esses ecossistemas abrigavam uma rica fauna de gigantescos insetos, aranhas, outros artrópodes e os primeiros répteis (COWEN, 2013). Ao explorarmos Dagobah, visualizamos um cenário que remete ao passado da Terra, com criaturas movendo-se por densas florestas pantanosas que se assemelham às características únicas do Carbonífero, uma comparação que explora o potencial didático da ficção científica no contexto do ensino sobre os diferentes períodos geológicos da Terra.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino:



áreas pantanosas, clima tropical, metanogênese, ciclo do carbono, mudanças climáticas, período Carbonífero.

Kamino (Figura 6) é um planeta oceânico com tempestades incessantes que aparece pela primeira vez no STAR WARS: EPISÓDIO II – ATAQUE DOS CLONES (de 2002), onde representava o local de criação e treinamento do exército de clones utilizados nas Guerras Clônicas, um conflito galáctico que durou quase quatro anos. Os habitantes de Kamino vivem em enormes cidades dispostas sobre palafitas, pois não existe terra firme ocorrendo naturalmente no planeta (Figura 7).



Figura 6. Kamino, um planeta oceânico sem terra firme. Fonte: STAR WARS: A GUERRA DOS CLONES – “CLONE CADETS”.



Figura 7. As cidades de Kamino. Fonte: STAR WARS: EPISÓDIO II – O ATAQUE DOS CLONES.

Um planeta oceânico sem terra firme, como Kamino, pode servir de ponto de partida para diversas discussões em astrobiologia. Há uma hipótese muito robusta de que a vida teria se originado do fundo dos oceanos (NISBET & SLEEP, 2001; MARTIN *et al.*, 2008; KELLEY *et al.*, 2016) e, hoje, temos uma boa compreensão de como se sua evolução da vida desde os primeiros microrganismos até as criaturas que caminham, voam e escalam nas mais variadas paisagens de nosso planeta. Na discussão sobre a evolução da vida, os oceanos são um ponto chave: tanto as plantas quanto os animais têm sua origem neles, conquistando ambientes terrestres posteriormente (COWEN, 2013).

Uma interessante possibilidade de dinâmica em sala de aula é trabalhar toda a evolução da vida nos oceanos como conhecemos. Tomando como exemplo os animais, é possível traçar a história da vida marinha, mencionando importantes eventos como a fauna Ediacarana e a explosão do Cambriano, até chegar na conquista do ambiente terrestre pelos animais.

Mesmo com as frequentes tempestades, Kamino não pode ser categoricamente classificado como um ambiente extremo. Se a vida tivesse origem nesse lugar, é plausível que encontrasse condições propícias para sua diversificação. Expandindo essa ideia, seria possível promover discussões sobre como



seriam os organismos de Kamino, um vasto planeta oceânico, sem terra firme. Por exemplo, esperaríamos que aparecessem mais seres flutuantes, nadadores ou que se ancorassem ao substrato?

Aqui, a discussão sobre habitabilidade poderia ser aprofundada: segundo COCKELL (2015), mesmo em planetas com condições físico-químicas estáveis e a presença de água líquida, a vida requer uma fonte de energia para o crescimento e reprodução de organismos. Na Terra, a fotossíntese desempenha um papel fundamental, na medida em que organismos convertem a energia solar em energia química armazenada em moléculas orgânicas, sustentando a si mesmos e servindo de base para a cadeia alimentar. No entanto, em um planeta como Kamino, a luz solar pode ser limitada, especialmente nas profundezas de seus oceanos. Nesse momento, seria possível propor uma atividade em que seriam discutidas potenciais fontes de energia a serem utilizadas pelos organismos de Kamino.

Poderíamos estender essa discussão também para luas oceânicas como Europa ou Encélado, que parecem possuir oceanos abaixo de sua superfície que não recebem luz do sol (COCKELL, 2015). Nesse sentido, os alunos poderiam ser incentivados a criar seus próprios organismos adaptados às condições de Kamino, Europa e Encélado, reforçando os conhecimentos aprendidos sobre habitabilidade e luas oceânicas através de um exercício criativo e envolvente.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: origem da vida, vida nos oceanos, evolução da vida, fauna Ediacarana, explosão do Cambriano, fontes de energia para a vida.

Citado brevemente no filme STAR WARS: EPISÓDIO VI – O RETORNO DE JEDI, Sullust (Figura 8) é um planeta conhecido por sua aparência vulcânica e de paisagens desérticas. Sua topografia é dominada por terrenos rochosos, com presença de montanhas, vulcões, desertos e cavernas. Grandes planaltos escuros e áridos se estendem por vastas áreas do planeta, permeados por formações rochosas irregulares e escarpadas. Possui uma atividade geotérmica ativa, cujos vulcões permanecem em erupção constante e dão origem a rios de lava que serpenteiam pelas planícies, dando a impressão de que o planeta está em ebulição. As encostas dos vulcões são marcadas por crateras fumegantes e aberturas que emitem gases tóxicos, contribuindo para a atmosfera densa, quente e hostil do planeta, com intensas tempestades elétricas.

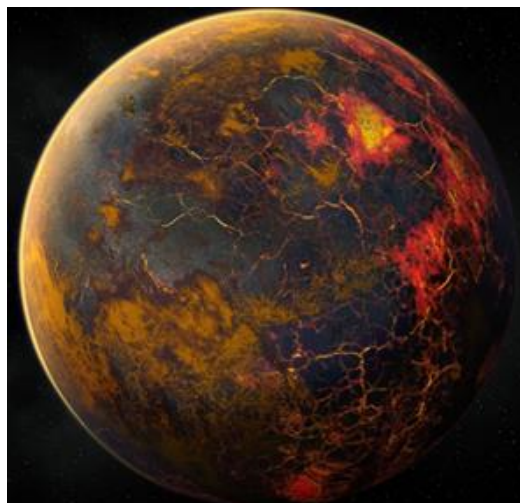


Figura 8. Representação do planeta Sullust.
Fonte: David Ardila, via STAR WARS WIKI.

Em paralelo com a história geológica da Terra, o ambiente encontrado em Sullust seria considerado análogo ao da Terra primitiva, compreendida entre o período de formação do planeta (Hadeano - 4,6 bilhões de anos) e os registros das primeiras evidências de vida (Arqueano - 3,8 bilhões de anos). Em termos geológicos, foi um período extremamente hostil na história da Terra, caracterizado



por altas temperaturas, intensa atividade vulcânica, colisões frequentes de meteoritos e uma atmosfera tóxica, rica em gases como enxofre, amônio e metano, e ausência de oxigênio (CALLEFO, 2016) (Figura 9).



Figura 9. Representação gráfica da superfície do planeta Terra durante o período Hadeano. Fonte: Tim Bertelink, CC BY-SA 4.0, via WIKIMEDIA COMMONS.

Em um cenário como esse, tanto em Sullust quanto na Terra, seria improvável que alguma forma de vida pudesse existir e prosperar em meio a condições tão extremas. No entanto, no mundo ficcional, Sullust abriga uma espécie nativa conhecida como Sullustanos. Segundo a STAR WARS WIKI (s.d.), enciclopédia online sobre o universo da saga, os Sullustanos são criaturas humanoides que possuem características adaptadas ao ambiente do planeta. Possuindo um crânio largo e achatado, eram reconhecidos pelas duas abas de papadas ao redor de suas bochechas e seus olhos grandes e brilhantes semelhantes aos de um rato, que permitem uma visão aguçada em ambientes escuros e excelente visão periférica, como em suas cidades subterrâneas. Suas orelhas são grandes e redondas, permitindo uma audição altamente desenvolvida para detectar os menores sons no ambiente ao seu redor.

Embora Sullust seja uma criação da ficção científica, podemos propor alguns ambientes da Terra que compartilham semelhanças com esse planeta fictício, auxiliando em nossa busca por entender as possibilidades de vida em outros mundos. Dado que a superfície de Sullust é descrita como árida e estéril, é plausível que formas de vida possam existir em ambientes subterrâneos, onde a atividade vulcânica pode proporcionar fontes de calor e energia. Tubos de lava (Figura 10), cavernas e fendas, por exemplo, são ambientes terrestres considerados de grande interesse para a astrobiologia, pois, além de servirem como análogos, fornecem condições relativamente estáveis e protegidas que podem contribuir para a preservação de vestígios de vida antiga e ainda abrigar ecossistemas microscópicos ou formas de vida mais complexas, que estejam adaptadas às condições subterrâneas (KOMMEDAL, 2017).

Conforme apontado por LÉVEILLÉ & DATTA (2010), PERKINS (2020) e ÇOLAK & DOĞRUÖZ GÜNGÖR (2022), dentre essas condições estão: proteção contra radiação e variações de temperatura que prevalecem na superfície de muitos corpos celestes, como a Lua e Marte, preservação de amostras geológicas antigas devido à sua natureza isolada e protegida, podem abrigar microrganismos que conseguem sobreviver em condições extremas, como altas temperaturas e falta de luz. Além disso, esses ambientes podem servir como campos de teste para instrumentação e técnicas de pesquisa e também conter recursos valiosos, como gelo, água ou minerais, que podem ser úteis para futuras missões humanas ou robóticas de exploração espacial.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: vulcões, tubos de lava, cavernas, vida subterrânea.





Figura 10. Uma pesquisadora coletando amostras bioquímicas nas paredes de um tubo de lava. Fonte: MUSILOVA *et al.* (2021).

DUNA

DUNA é uma saga iniciada por Frank Herbert no ano de 1965. A história mescla debates políticos, filosóficos, ecológicos e sociológicos a partir de um universo futuro cujos planetas habitados estão subjugados a um império feudal intergaláctico. O primeiro livro de DUNA é um dos romances de ficção científica mais vendidos de todos e rendeu ao autor os prêmios Hugo e Nebula, além de ser considerado uma grande inspiração para o gênero. A história se expande em diversos livros, um conto, séries de TV e adaptações para o cinema. Neste artigo, utilizamos o filme de 2021 como principal meio de análise. Os principais eventos da trama ocorrem em Arrakis, planeta desértico e repleto de “dunas”, características estas que deram nome à saga.

DUNA se passa em um planeta composto basicamente por desertos e formações rochosas, Arrakis (Figura 11). Por ser um planeta consagrado na história da ficção científica, é possível encontrar uma gama de materiais que discutem suas características físicas, geológicas e até mesmo biológicas. A ENCICLOPÉDIA DE DUNA (THE DUNE ENCYCLOPEDIA; McNELLY, 1984), por exemplo, compila importantes informações sobre o planeta. Ela explica que o clima de Arrakis é quente e seco, com noites frias mas temperaturas de congelamento apenas nos polos. Além disso, aponta que o planeta já foi muito ativo geologicamente: diversas montanhas formadas a partir do processo de tectônica de placas foram extensivamente erodidas e os oceanos do planeta evaporaram, tornando a superfície de Arrakis basicamente campos planos de areia e formações rochosas esparsas. A atmosfera do planeta só é respirável para seres humanos graças aos processos metabólicos dos vermes de areia que lá habitam.

Uma interessante simulação climática, que utilizou ferramentas de pesquisa desenvolvidas para o estudo dos exoplanetas, foi realizada por FARNSWORTH *et al.* (2021) para entender um pouco mais sobre Arrakis. Os especialistas em modelagem climática descobriram que muito do que fora idealizado por Frank Herbert corresponde à realidade - ou seja, um planeta com as características de Arrakis provavelmente funcionaria da maneira como a saga DUNA narra. O modelo aponta que, nos trópicos, os



meses mais quentes chegam aos 45°C, e os mais frios não ficam abaixo dos 15°C. Essa é a área mais habitável para seres humanoides, contrariando os seres da saga que vivem em latitudes médias. O modelo também sugere pequenas quantidades de chuva em Arrakis, enquanto nos livros elas sequer existem.



Figura 11. Superfície de Arrakis, no filme de 2021. Fonte: DUNA. Divulgação/Warner Bros.

Arrakis já foi utilizado como fio condutor para explorar a astrobiologia na sala de aula, em uma atividade cuja proposta era realizar um ciclo de discussões sobre “como sobreviver e erguer uma civilização” nesse planeta aparentemente inóspito, integrando principalmente elementos sociológicos, biológicos e geológicos (KIMURA *et al.*, 2015). DUNA também já foi objeto de discussão no âmbito da terraformação, assunto bastante presente em estudos astrobiológicos e com propostas de abordagem para o ensino médio (ROSA *et al.*, 2019) além de ser permeada por diversos conceitos da ecologia, como efeitos em cascata e sistemas de feedback (PAK, 2019). Por fim, o planeta já foi até mesmo comparado com Marte graças à sua aridez e histórico de perda de água (DARTNELL, 2008), evidenciando que a ficção científica também pode ser utilizada para melhor compreensão de ideias astrobiológicas. Marte ainda é um candidato para possuir vida, que estaria abrigada dentro de rochas (formando comunidades endolíticas), escondida no subsolo, ou ainda sob calotas polares, e talvez as formas de vida esperadas em Marte também sejam adequadas para sobreviver no principal planeta de DUNA.

Compreendendo as características de Arrakis, é fácil concluir que os desertos terrestres, como o Deserto do Atacama, no Chile (Figura 12), e os vales secos de McMurdo, na Antártica (Figura 13), são bastante semelhantes ao planeta e, portanto, funcionariam como bons ambientes análogos. Como Arrakis possui diversas rochas em sua composição, focaremos principalmente nas comunidades microbianas endolíticas, também presentes em diversos desertos do planeta Terra. Apesar de ser um ambiente oligotrófico (pobre em nutrientes), o interior das rochas também pode sustentar um ecossistema microbiano, e os organismos que lá vivem são denominados organismos endolíticos (SAJJAD *et al.*, 2022). No Deserto do Atacama, considerado um ambiente extremo, é possível encontrar diversas comunidades endolíticas, formadas principalmente por produtores primários que se alojam dentro dos poros das rochas. Essas comunidades são compostas por organismos de diferentes reinos da vida, como fungos (reino Fungi), microalgas (reino Protista) e cianobactérias (reino Monera) (WIERZCHOS *et al.*, 2018), demonstrando que até mesmo ambientes limitados podem sustentar uma alta diversidade. É válido ressaltar que as cianobactérias são fotossintéticas e possuem diversas linhagens consideradas extremófilas (como é possível perceber graças às habitantes do Atacama), então é possível que, em Arrakis, não somente os vermes de areia sejam responsáveis pelo oxigênio atmosférico, mas sim contem



com a colaboração de pequenas cianobactérias ou organismos similares a elas escondidos dentro de rochas (para ler sobre a probabilidade da emergência de fotossíntese em outras biosferas, ver WILKINSON, 2003).



Figura 12. Formação montanhosa no Deserto do Atacama, no Chile. Fonte: Marcus Dall Col, via unsplash.com/pt-br/fotografias/grand-canyon-TR8rUQkPWLg.

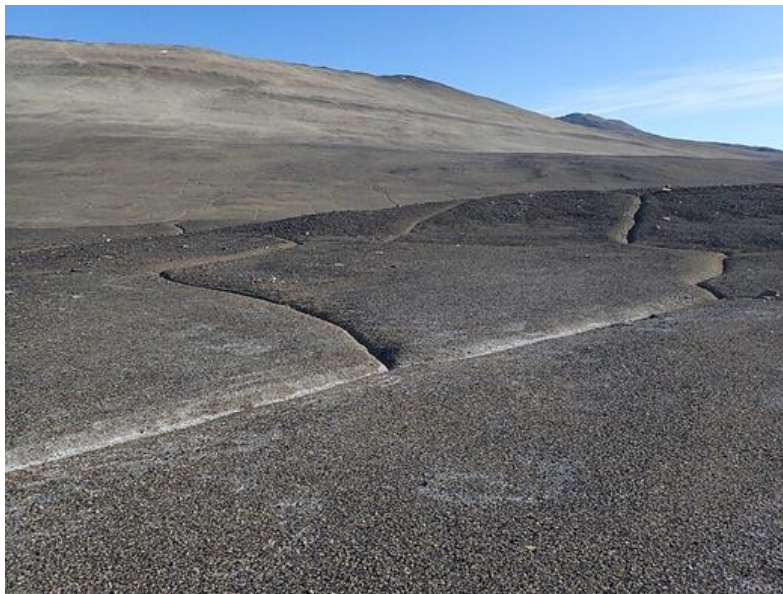


Figura 13. Vale Miers, um dos vales pertencentes aos Vales Secos de McMurdo, na Antártida. Fonte: Pierre Roudier, via [flickr.com/photos/10050552@N05/24672544579/](https://www.flickr.com/photos/10050552@N05/24672544579/).

Os resultados de pesquisas com comunidades endolíticas nos Vales Secos de McMurdo, considerado o maior e mais seco deserto do mundo, não diferem tanto daqueles encontrados no Deserto do Atacama. Foram encontrados líquens (associação entre algas e fungos), algas de vida livre, cianobactérias, fungos melanizados e bactérias heterotróficas (precisam de nutrientes orgânicos para se alimentar) e até arqueas (ARCHER *et al.*, 2017). Apontamos aqui dois desertos terrestres bastante distintos que apresentam comunidades microbianas prosperando dentro de rochas, porém pode-se



dizer que hábitats endolíticos são onipresentes em nosso planeta e abrigam umas das mais simples comunidades microbianas conhecidas, por isso também são ótimos modelos para a ecologia microbiana e a astrobiologia (WALKER & PACE, 2007). A soma dessa onipresença e relativa simplicidade torna ainda mais plausível a possibilidade de existência de organismos endolíticos nas formações rochosas que cobrem a superfície de Arrakis.

Por fim, destaca-se que surge, então, uma oportunidade de despertar interesse em grupos taxonômicos um tanto negligenciados no ensino de Biologia: algas são encaradas apenas como “plantas aquáticas” (BERNARDO & PELEGRIN, 2017) e fungos são considerados organismos maléficos, menos importantes que plantas e animais (SILVA & GOUW, 2021). Romper com essa ideia não é uma tarefa simples, mas pode se tornar mais fácil com o auxílio de ideias astrobiológicas. Apresentar o potencial extremofílico tanto de algas quanto de fungos (MALAVASI *et al.*, 2020; TESEI, 2022), bem como suas adaptações para viver em ambientes extremos (e possivelmente em ambientes extraterrestres), pode fazer parte da desestigmatização desses grupos. Seja no Atacama, em Marte ou em Arrakis, a biodiversidade sempre pode prosperar.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: vida em ambientes áridos, terraformação, fungos, algas, cianobactérias.

TRANSFORMERS

A franquia TRANSFORMERS iniciou-se por conta de uma linha de brinquedos lançada em 1984 pela empresa HASBRO (com autorização da empresa TAKARA TOMY), que encomendou histórias em quadrinhos da MARVEL COMICS e desenhos animados da empresa TOEI ANIMATION para ajudar a divulgar os brinquedos. Com grande sucesso, a coleção expandiu-se em mais brinquedos, diversas séries de animação, filmes live action, animes, jogos e longas metragens animados. Nessa narrativa multimídia, os Autobots protagonizam enquanto os Decepticons antagonizam, ambos representando grupos de robôs alienígenas com a capacidade de mudar de forma, característica essa que originou o nome da franquia. Os robôs da saga TRANSFORMERS têm, costumeiramente, Cybertron (Figura 14) como planeta natal.

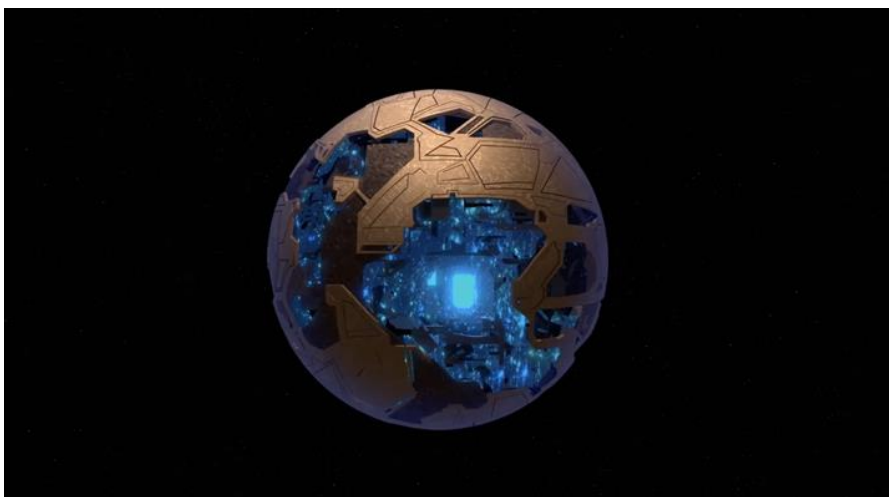


Figura 14. Aspecto geral do planeta Cybertron. Fonte: TRANSFORMERS: CYBERVERSE (de 2020).

Dentre todos os planetas explorados neste artigo, talvez Cybertron seja o mais distinto de todos. Suas características geológicas e biológicas não foram exploradas na literatura recente, que foca principalmente em aspectos sociológicos do filme TRANSFORMERS. Assim, as principais informações sobre o planeta foram obtidas no verbete para Cybertron da plataforma TRANSFORMERS WIKI (sem data, mas atualizado pela última vez em 2022). O planeta, ao longo das diversas versões de TRANSFORMERS, foi



representado de diversas formas. Entretanto, Cybertron é costumeiramente representado como um planeta são preenchidos com mercúrio e hélio líquido, apesar da atmosfera ser respirável para seres humanos. Essa versão também apresenta formas de vida similares a plantas e animais, porém a biologia desses seres não é explorada na história.

Os principais candidatos terrestres para sobreviver em Cybertron são bactérias, arqueas e fungos metalotolerantes. Muitos estudos com esses organismos são focados para a biorremediação de solos terrestres e corpos d'água (PUCCIO, 2023), que é uma relevante temática biotecnológica a ser trabalhada em sala de aula, inserida na abordagem pedagógica de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), e pode mostrar que microrganismos, além de se adaptarem aos mais diversos ambientes, podem ser peças fundamentais na despoluição dos ecossistemas terrestres (ROCHA, 2021). Em 2020, foi descoberta por YU & LEADBETTER (2020) uma bactéria capaz de se nutrir e crescer apenas com a ajuda do manganês (mas claro, o vapor d'água segue sendo necessário), um metal cinza-claro bastante utilizado para produzir pilhas, aço e outras ligas metálicas. Essa bactéria, denominada *Manganitrophus noduliformans* Yu & Leadbetter (Trogloloeales: Manganitrophaceae), é considerada quimiolitotrófica, ou seja, produzem seu alimento a partir de reações químicas que ocorrem entre componentes inorgânicos. Essa é uma forma de nutrição diferente daquelas mais conhecidas pelos estudantes em geral (fotoautotrofia na fotossíntese e heterotrofia em relações ecológicas como herbivoria e predação), mas que já foi brevemente explorada em materiais didáticos (AMABIS *et al.*, 2020). Talvez a *M. noduliformans* seja a mais promissora sobrevivente em Cybertron, já que o planeta (do Universo Marvel) conta com uma cadeia de montanhas de manganês (TRANSFORMERS WIKI, s.d. a,b), habitat perfeito para essa bactéria.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: biorremediação, despoluição de ecossistemas, quimiolitotrofia.

STAR TREK (JORNADA NAS ESTRELAS)

STAR TREK, OU JORNADA NAS ESTRELAS, é uma franquia de entretenimento que inclui uma série de televisão, iniciada em 1966, e suas produções derivadas - incluindo outras séries de televisão e 'streaming', séries de animação, jogos e filmes para o cinema. Narram, basicamente, aventuras vividas por alienígenas e seres humanos no espaço sideral, e incluem diversas reflexões sobre a natureza humana e seus desdobramentos sociais. STAR TREK foi uma das primeiras - se não a primeira - séries de televisão a apresentar planetas fictícios habitados, sendo um marco na história da ficção científica e uma das grandes responsáveis pela popularização da ideia de vida extraterrestre (BILLINGS, 2010). A obra tem um grande potencial de utilização como ferramenta didática no ensino de Ciências (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e certamente é relevante no contexto da astrobiologia.

Vulcano é o principal planeta de STAR TREK, afinal, ele é a casa de Spock, um dos personagens principais da série. Assim como Arrakis, também é um planeta desértico: é quente, árido e perdeu todos seus oceanos pela evaporação, restando apenas pequenos mares e lagos isolados de água salgada (Figura 15) (MEMORY ALPHA FANDOM, s.d.). Na franquia, o planeta apresenta habitantes humanoides, bem como uma diversidade de plantas e animais. Entretanto, as formas de vida mais interessantes seriam encontradas nesses pequenos corpos de água salgada que restaram no planeta.

Em ambientes hipersalinos, como os tais lagos salgados, a salinidade supera a da água do mar ($\approx 35\%$) (RICH & MAIER, 2015). Surpreendentemente, mesmo em condições desafiadoras, esses locais abrigam uma notável diversidade de vida. O próprio Mar Morto (Figura 16), conhecido por ser o ponto mais baixo da Terra, não está morto de verdade: há mais de oitenta anos já se sabe que o local hospeda bactérias com uma fascinante capacidade de sobrevivência (WILKANSKY, 1936), e certamente o Mar Morto poderia representar um dos corpos d'água de Vulcano. Em ambientes hipersalinos encontramos principalmente organismos halotolerantes, que conseguem viver em ambientes com altas concentrações de sais, ou halófilos, que têm crescimento ótimo nesse tipo de ambiente. Assim, podemos conjecturar que as lagoas de Vulcano seriam habitats ideais para essas formas de vida.





Figura 15. Paisagem do planeta Vulcano. Fonte: STAR TREK: DISCOVERY – THE VULCAN HELLO (de 2017).



Figura 16. Um trecho do Mar Morto. Fonte: Ana Paula Hirama. Imagem retirada de [commons.wikimedia.org/wiki/File:Israel, Masada_-_Mar_Morto_\(5165355381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Israel,_Masada_-_Mar_Morto_(5165355381).jpg).

A noção de ambientes aquáticos hipersalinos com habitantes halofílicos não se restringe ao planeta Terra: uma análise conduzida por RENNO *et al.* (2021) lança luz sobre a possível habitabilidade de salmouras marcianas e de luas geladas. A possibilidade de vida em Marte já foi abordada em contextos educativos (PRADO *et al.*, 2016; SITKO *et al.*, 2019) e pode desempenhar um papel crucial no desenvolvimento acadêmico e intelectual dos alunos.

Organismos halófilos pertencem aos três domínios da vida: Bacteria, Archaea e Eukarya (MA *et al.*, 2010), demonstrando que algas, fungos, bactérias, arqueas e até organismos multicelulares (DASARMA & DASARMA, 2017) são capazes de se adaptar em ambientes hipersalinos, tornando mais ainda provável a existência desses seres vivos em Vulcano. A adaptação aos ambientes salinos pode ter sido uma das primeiras adaptações da história da vida na Terra (DUNDAS, 1998), fazendo com que os organismos halófilos sejam um ótimo ponto de partida para discutir a origem da vida, sua diversidade e a evolução como um todo.



Os organismos halófilos estudados mais frequentemente são as arqueas. Existe, inclusive, uma família de arqueas halófilas denominada Halobacteriaceae, e alguns de seus membros são capazes de sobreviver durante processos de formação de salinas a partir da evaporação de água do mar (OREN, 2014), dinâmica essa bastante familiar no contexto do planeta Vulcano.

Além disso, o foco nas arqueas halófilas pode provocar discussões sobre o domínio Archaea em geral. No final da década de 1970, o cientista Carl Woese, juntamente com seu colega George Fox, descobriu um grupo de procariontes cujas características genéticas não se encaixavam nas tradicionalmente atribuídas às bactérias. Diante disso, eles apontaram a necessidade de revisar o sistema de classificação dos seres vivos para incluir esse novo grupo, as arqueas (WOESE & FOX, 1977). A partir do trabalho desses cientistas, surge uma nova proposta de sistema de classificação que divide a vida nos domínios Bacteria, Archaea e Eukarya, desafiando as fronteiras tradicionais da taxonomia, sendo agora amplamente aceita pela comunidade científica (NOLLER, 2013). Entretanto, no ensino básico, os alunos costumam aprender o sistema de classificação baseado nos cinco reinos, em que bactérias e arqueas estão alocadas no reino Monera. A abordagem de Archaea em sala de aula pode ser considerada um tanto superficial, ao passo em que muitos estudantes enxergam as arqueas como um “tipo especial” de bactéria (MESQUITA & SOUZA, 2022). Assim, aprofundar estudos sobre os representantes desse domínio pode ser uma maneira de suprir esse déficit no conhecimento sobre os organismos procariontes. Apesar de bactérias e arqueas halófilas poderem, hipoteticamente, existir no planeta Vulcano, elas possuem muitas diferenças que podem ser elucidadas em um processo educativo.

Como sugestão, as seguintes palavras-chave podem ser trabalhadas em atividades de ensino: evolução, adaptação, ambientes hipersalinos, halófilos, arqueas, vida em Marte.

Considerações finais

No presente artigo, a partir da perspectiva da “astrobiologia cultural”, foi possível analisar os ecossistemas de sete planetas presentes em obras de ficção científica e hipotetizar as formas de vida - em sua maioria extremófilas - que poderiam prosperar nesses locais, bem como os ambientes terrestres que seriam bons análogos a esses ambientes fictícios. Utilizando uma abordagem interdisciplinar, algo fundamental em pesquisas astrobiológicas, conectamos esses mundos fictícios à astrobiologia e à educação, criando uma ponte entre a cultura popular, a ciência e o ensino.

Enquanto a ficção científica costuma ser abordada a partir de disciplinas mais tradicionais, demonstramos que ela também apresenta um material potencialmente astrobiológico. Ao propormos conteúdos a serem explorados a partir da análise de mundos fictícios e cenários exóticos, conseguimos trabalhar questões importantes sobre a diversidade da vida e dos ecossistemas terrestres, a adaptação dos organismos aos ambientes extremos e as possibilidades de existência de vida fora da Terra. Utilizar esses conteúdos em propostas educativas (em ambientes de educação tanto formal quanto não-formal) é o próximo passo a ser realizado no âmbito deste projeto.

Este estudo também ressalta que a ficção científica, quando incorporada ao ambiente educacional, não tem um fim em si mesma. Ela se revela como uma ferramenta para promover atividades que estimulam a criatividade e o senso crítico dos estudantes, expandindo as discussões sobre as obras para além do que foi apresentado nas telas ou nas páginas dos livros. Assim, a ficção científica representa um terreno ainda inexplorado para abordagens didáticas no campo da astrobiologia. A Tabela 1 compila todos os planetas fictícios analisados neste trabalho e quais tópicos podem ser abordados em atividades de ensino e extensão no contexto da astrobiologia cultural.



Tabela 1. Obras de ficção científica a serem trabalhadas no contexto de astrobiologia, o planeta de interesse dessas obras e possíveis tópicos a serem explorados em atividades de ensino e extensão.

Obra de ficção científica	Planeta	Ambientes análogos	Tópicos a serem explorados
INTERESTELAR (filme)	Mann	Parque Nacional de Vatnajökull Criosfera terrestre Terra Bola de Neve	Tardígrados, extremófilos, vida em ambientes gelados, propriedades coligativas da água, criosfera, Terra Bola de Neve, mudanças climáticas
STAR WARS (filmes, livros, jogos, séries)	Dagobah	Parque Nacional Everglades Terra no Carbonífero	Áreas pantanosas, clima tropical, metanogênese, ciclo do carbono, mudanças climáticas, período Carbonífero
	Kamino	Oceanos terrestres	origem da vida, vida nos oceanos, evolução da vida, fauna Ediacarana, explosão do Cambriano, fontes de energia para a vida
	Sullust	Terra primitiva - Hadeano e Arqueano	vulcões, tubos de lava, cavernas, vida subterrânea
DUNA (livros e filme)	Arrakis	Deserto do Atacama Vales Secos de McMurdo	Vida em ambientes áridos, terraformação, fungos, algas, cianobactérias.
TRANSFORMERS (HQs, filmes, séries)	Cybertron		Biorremediação, despoluição de ecossistemas, quimiolitotrofia.
STAR TREK (séries, jogos, filmes)	Vulcano	Mar Morto	Evolução, adaptação, ambientes hipersalinos, halófilos, arqueas, vida em Marte.



Referências

- ARCHER, S.D.; DE LOS RÍOS, A.; LEE, K.C. *et al.* 2017. Endolithic microbial diversity in sandstone and granite from the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. **Polar Biology** **40**: 997-1006.
- AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; FERRARO, N.G. *et al.* 2020. **Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor**. Editora Moderna.
- BAE, H.; MORRISON, E.; CHANTON, J. *et al.* 2018. Methanogens are major contributors to nitrogen fixation in soils of the Florida Everglades. **Applied and Environmental Microbiology** **84**: e02222-17.
- BELLAS, C.M.; ANESIO, A.M. & BARKER, G. 2015. Analysis of virus genomes from glacial environments reveals novel virus groups with unusual host interactions. **Frontiers in Microbiology** **6**: 656.
- BERNARDO, B. & PELEGRIN, C.M.G. 2017. A importância de trabalhar com algas no ensino médio, uma abordagem interativa. *In*: **Anais do VII SEPE - Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2 p.
- BILLINGS, L. 2010. Are we all there is? Exobiology and Astrobiology in public. **AGU Fall Meeting Abstracts** **1**: 1-10.
- BLUMBERG, B.S. 2003a. Astrobiology: An introduction. **The Anatomical Record** **268**(3): 169-170.
- BLUMBERG, B.S. 2003b. The NASA Astrobiology Institute: Early history and organization. **Astrobiology** **3**(3): 463-470.
- BOETIUS, A.; ANESIO, A.M.; DEMING, J.W. *et al.* 2015. Microbial ecology of the cryosphere: sea ice and glacial habitats. **Nature Reviews Microbiology** **13**(11): 677-690.
- BROCKS, J.J.; JARRETT, A.J.; SIRANTOINE, E. *et al.* 2017. The rise of algae in Cryogenian oceans and the emergence of animals. **Nature** **548**(7669): 578-581.
- BUAN, N.R. 2018. Methanogens: pushing the boundaries of biology. **Emerging Topics in Life Sciences** **2**(4): 629-646.
- CALLEFO, F. 2016. O Hadeano - primórdios do nosso planeta. **PaleoMundo** [on-line]. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/paleoblog/2016/09/14/o-hadeano-primordios-do-nosso-planeta>. Acesso em: 19 de setembro de 2023.
- CHEFER, C. & OLIVEIRA, A.L. 2022. Astrobiologia no contexto do ensino de Ciências no Brasil: cosmovisões de pesquisadores e professores da área. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** **24**: e39005.
- COCKELL, C.S. 2015. **Astrobiology: Understanding life in the universe**. John Wiley & Sons.
- ÇOLAK, B. & DOĞRUÖZ GÜNGÖR, N. 2022. The astrobiological significance of caves on Earth and on Mars. **International Journal of Environment and Geoinformatics** **9**(3): 57-64.
- COWEN, R. 2013. **History of life**. Wiley-Blackwell.
- CZERNEDA, J.E. 2006. Science fiction & scientific literacy. **The Science Teacher** **73**(2): 38-42.
- DA-SILVA, E.R. & COELHO, L.B.N. 2016. Zoologia cultural, com ênfase na presença de personagens inspirados em artrópodes na cultura pop. *In*: DA-SILVA *et al.* (ed.). **Anais do III Simpósio de Entomologia do Rio de Janeiro**. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), p. 24-34.



- DA-SILVA, E.R. 2018. Retrospectiva 2018: o ano de consolidação da Biologia cultural – e jamais isso foi tão necessário. **A Bruxa** 2(6): 1-8.
- DARTNELL, L. 2008. Mars: Waterworld or Dune?: Water and life elsewhere. **The Biochemist** 30(4): 22-25.
- DASARMA, S. & DASARMA, P. 2017. **Halophiles**. eLS: 1–13.
- DIMICHELE, W. 2001. Carboniferous coal-swamp forests. In: BRIGGS, D.E.G. & CROWTHER, P.R. (ed.). **Palaeobiology II**. Wiley, p. 79–82.
- DUNDAS, I. 1998. Was the environment for primordial life hypersaline? **Extremophiles** 2: 375-377.
- ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. 2019. Ensinar com o espaço: ursos espaciais. **Ciência Viva** [on-line]. Disponível em: https://webstorage.cienciaviva.pt/public/pt.cienciaviva.io/recursos/files/ursos_espaciais_144311454060ee.pdf. Acesso em: 25 de outubro de 2023.
- FARNSWORTH, A.; FARNSWORTH, M. & STEINIG, S. 2021. **Dune: We simulated the desert planet of Arrakis to see if humans could survive there** [online]. Disponível em: <https://theconversation.com/dune-we-simulated-the-desert-planet-of-arrakis-to-see-if-humans-could-survive-there-170181>. Acesso em: 28 de junho de 2023.
- FORTUNA, J.L. 2021. Funga cultural: micologia filatélica do Brasil e utilização de selos no ensino. **A Bruxa** 5(3): 32-55.
- HARRISON, J.P.; GHEERAERT, N.; TSELNITSKIY, D. *et al.* 2013. The limits for life under multiple extremes. **Trends in Microbiology** 21(4): 204-212.
- HEGNER, I. 2020. Extremophiles: a special or general case in the search for extra-terrestrial life? **Extremophiles** 24(1): 167-175.
- HOFFMAN, P.F.; ABBOT, D.S.; ASHKENAZY, Y. *et al.* 2017. Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology. **Science Advances** 3(11): e1600983.
- HOGUE, C.L. 1980. Commentaries in cultural Entomology. 1. Definition of cultural Entomology. **Entomological News** 91(2): 33-36.
- KELLEY, J.; BROWN, A.; THERKILDSEN, N. *et al.* 2016. The life aquatic: advances in marine vertebrate genomics. **Nature Reviews Genetics** 17: 523–534.
- KIMURA, R.; RAMOS, J. & PIASSI, L.P. 2015. Planetas fictícios: literatura, astrobiologia e interdisciplinaridade. In: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – Atas do X ENPEC**. ABRAPEC, p. 1-8.
- KIMURA, R.K. & PIASSI, L.P. 2018. Os múltiplos sóis: a arte-ciência da astronomia e da ficção científica na difusão da ciência. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia** 25: 7-23.
- KOMMEDAL, E.G. 2017. **Microbiology of lava tube skylights on Earth: Implications for astrobiology**. Dissertação (Master in Environmental Technology). University of Stavanger.
- LATHAM, R. & SEED, D. 2014. Atomic culture and the space race. In: LATHAM, R. (ed.). **The Oxford handbook of science fiction**. Oxford University Press, p. 340-351.
- LAUNIUS, R.D. 2012. Venus-Earth-Mars: Comparative climatology and the search for life in the solar system. **Life** 2(3): 255-273.



- LÉVEILLÉ, R.J. & DATTA, S. 2010. Lava tubes and basaltic caves as astrobiological targets on Earth and Mars: a review. **Planetary and Space Science** 58(4): 592-598.
- LÉVEILLÉ, R.J. 2011. The role of terrestrial analogue environments in astrobiology. *In*: GARGAUD, M. (ed.). **Origins and evolution of life: An astrobiological perspective**. Cambridge University Press, p. 507–522.
- MA, Y.; GALINSKI, E.A.; GRANT, W.D. *et al.* 2010. Halophiles: Life in saline environments. **Applied and Environmental Microbiology** 76(21): 6971-6981.
- MACIEL COSTA, F.S. 2021. Uma jornada pela vida no cosmos: relato de experiência de ensino de astrobiologia. **Cadernos de Astronomia** 2(2): 142.
- MALAVASI, V.; SORU, S. & CAO, G. 2020. Extremophile microalgae: The potential for biotechnological application. **Journal of Phycology** 56(3): 559-573.
- MARTIN, W.; BAROSS, J.; KELLEY, D. *et al.* 2008. Hydrothermal vents and the origin of life. **Nature Reviews Microbiology** 6: 805-814.
- MAYATO, B.R. 2017. **A astrobiologia como recurso didático para o ensino de Biologia: uma proposta de inserção**. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas). Universidade Veiga de Almeida.
- MCNELLY, W.E. 1984. **The Dune encyclopedia**. Berkley Books.
- MEMORY ALPHA FANDOM. s.d. Vulcano (planeta). **Memória Alfa** [on-line]. Disponível em: [https://memory-alpha.fandom.com/pt/wiki/Vulcano_\(planeta\)](https://memory-alpha.fandom.com/pt/wiki/Vulcano_(planeta)). Acesso em: 25 de outubro de 2023.
- MESQUITA, F.A. & SOUZA, M.T. 2022. O terceiro domínio da vida: análise do ensino de Archaea em escolas de ensino médio do Distrito Federal, Brasil. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio** 15(2): 1122-1146.
- MØBJERG, N. & NEVES, R.C. 2021. New insights into survival strategies of tardigrades. **Comparative Biochemistry and Physiology part A: Molecular & Integrative Physiology** 254(110890): 1-6.
- MUSILOVA, M.; MCADAM, A.C.; RICHARDSON, J.A. *et al.* 2021. Lunar and Martian lava tube research simulation at HI-SEAS. *In*: **52nd Lunar and Planetary Science Conference**. SETI Institute, p. 2600.
- NISBET, E.G. & SLEEP, N.H. 2001. The habitat and nature of early life. **Nature** 409: 1083-1091.
- NOLAN, J. 2008. **Interstellar** [on-line]. Disponível em: <https://imsdb.com/scripts/Interstellar.html>. Acesso em: 9 de junho de 2023.
- NOLLER, H. 2013. Carl Woese (1928-2012). **Nature** 493: 610.
- OREN, A. 2014. Halophilic archaea on Earth and in space: growth and survival under extreme conditions. **Philosophical Transactions of the Royal Society A** 372(20140194): 1-12.
- ÖZDEMİR, O.A. & ÖZTÜRK, F.O. 2023. Science fiction as an instructional strategy: Foundations, procedures, and results for pre-service teachers. **International Journal of Science and Mathematics Education** 21(1): 187-209.
- PAK, C. 2019. Chapter 12 - Planetary climates: Terraforming in science fiction. *In*: JOHNS-PUTRA, A. (ed.). **Climate and Literature**. Cambridge Critical Concepts. Cambridge University Press, p. 196-211.
- PERKINS, S. 2020. Lava tubes may be havens for ancient alien life and future human explorers. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 117(30): 17461-17464.



- PETSCH, C.; VELHO, L.F. & KELLEM DA ROSA, K. 2019. Uso de plataformas de dados e Google Earth Engine no ensino da criosfera e mudanças climáticas. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais** 10(22): 36-48.
- PRADO, E.W.; SILVA DE ASSIS, A.F. & RINALDI, C. 2016. Produção de textos e cartazes como ferramenta para aprendizagem significativa sobre a água com alunos do 6º ano do ensino fundamental. **Revista Prática Docente** 1(1): 91-103.
- PUCCIO, T. 2023. Metallophiles and their bioremediation applications. **American Society for Microbiology** [on-line]. Disponível em: <https://asm.org/articles/2023/april/metallophiles-and-their-bioremediation-application>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.
- REN, Z.; MARTYNIUK, N.; OLEKSY, I.A. *et al.* 2019. Ecological stoichiometry of the mountain cryosphere. **Frontiers in Ecology and Evolution** 7: n.p.
- RENNO, N.O.; FISCHER, E.; MARTÍNEZ, G. *et al.* 2021. Complex brines and their implications for habitability. **Life** 11(8): 847.
- RICH, I.V. & MAIER, R.M. 2015. Chapter 6 - Aquatic environments. *In*: PEPPER, I.L.; GERBA, C.P. & GENTRY, T.J. (ed.). **Environmental Microbiology**. 3 ed. Academic Press, p. 111-138.
- ROCHA, A.L.B. 2021. **BioLand: uma ferramenta para o ensino de biorremediação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.
- RODRIGUES, T.I.R.; COELHO, L.B.N.; GARCIA, A.M. & DA-SILVA, E.R. 2023. Fakemon, estratégia lúdica de ensino e divulgação - Uma proposta com artrópodes. **A Bruxa** 7(1): 10-26.
- ROSA, A.W; GIACOMELLI, A.C. & ROSA, A.B. 2019. The terraforming of Mars as an interdisciplinary subject to approach scientific knowledge in High School. **Research, Society and Development** 8(9): e45891328.
- RUPPERT, E.E.; FOX, R.S. & BARNES, R.D. 2005. **Zoologia dos invertebrados**. Editora Roca.
- SAJJAD, W.; ILAHI, N.; KANG, S.; BAHADUR, A.; ZADA, S. & IQBAL, A. 2022. Endolithic microbes of rocks, their community, function and survival strategies. **International Biodeterioration & Biodegradation** 169: 105387.
- SANTOS, C.R.S. & BRAGA, H.F. 2019. Abordagem das bactérias extremófilas em livros didáticos de Biologia do ensino médio. **Scientia Plena** 15(9): n.p.
- SCHRAG, D.P.; BERNER, R.A.; HOFFMAN, P.F. *et al.* 2002. On the initiation of a snowball Earth. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems** 3(6): 1-21.
- SILVA, A.C. & GOUW, A.M.S. 2021. Percepções e conhecimentos dos estudantes sobre fungos. **Scientia Plena** 17(6): n.p.
- SITKO, C.M.; POZZO, B.R.D. & COSTA-LOBO, C. 2019. Jornada a Marte: adaptação do RPG para o ensino de Física/Astronomia. **Revista EDaPECI** 19(2): 134-149.
- SOUZA, G.G. & HOFFMAN, D.S. 2010. Ficção científica e a astrobiologia: será que estamos sozinhos?. *In*: **XXII Salão de Iniciação Científica - Livro de resumos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, n.p.
- STALEY, J.T. 2003. Astrobiology, the transcendent science: the promise of astrobiology as an integrative approach for science and engineering education and research. **Current Opinion in Biotechnology** 14(3): 347-354.
- STAR WARS WIKI [s.d.]. Sullustan. Wookieepedia - **Star Wars Wiki** [on-line]. Disponível em: <https://starwars.fandom.com/wiki/Sullustan/Legends>. Acesso em: 28 de julho de 2023.



- TESEI, D. 2022. Black Fungi research: Out-of-this-World implications. **Encyclopedia** 2(1): 212-229.
- TEIXEIRA, A.S.; XAVIER, K.S. & DAMASIO, F. 2017. O ensino de e sobre ciência por meio da série de ficção científica Jornada nas Estrelas. **Experiências em Ensino de Ciências** 12(5): 1-33.
- THORNE, K.S. 2014. **The Science of Interstellar**. W.W. Norton & Company.
- TRANSFORMERS WIKI. [s.d.]a. Cybertron (planet). **Transformers Wiki** [on-line]. Disponível em: [https://tfwiki.net/wiki/Cybertron_\(planet\)](https://tfwiki.net/wiki/Cybertron_(planet)). Acesso em: 08 de outubro de 2023.
- TRANSFORMERS WIKI. [s.d.]b. Manganese Mountains. **Transformers Wiki** [on-line]. Disponível em: https://tfwiki.net/wiki/Manganese_Mountains. Acesso em: 08 de outubro de 2023.
- TSUJIMOTO, M.; IMURA, S. & KANDA, H. 2016. Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years. **Cryobiology** 72(1): 78-81.
- VANNIER, P.; FARRANT, G.K.; KLONOWSKI, A. *et al.* 2023. Metagenomic analyses of a microbial assemblage in a subglacial lake beneath the Vatnajökull ice cap, Iceland. **Frontiers in Microbiology** 14(1122184): 1-12.
- VANWONTERGHEM, I.; EVANS, P.N.; PARKS, D.H. *et al.* 2016. Methylotrophic methanogenesis discovered in the archaeal phylum Verstraetearchaeota. **Nature Microbiology** 1(12): 1-9.
- WALKER, J.J. & PACE, N.R. 2007. Endolithic microbial ecosystems. **Annual Review of Microbiology** 61(1): 331-347.
- WIERZCHOS, J.; CASERO, M.C.; ARTIEDA, O. *et al.* 2018. Endolithic microbial habitats as refuges for life in polyextreme environment of the Atacama Desert. **Current Opinion in Microbiology** 43: 124-131.
- WILKANSKY, B. 1936. Life in the Dead Sea. **Nature** 138: 467.
- WILKINSON, D.M. 2003. The fundamental processes in ecology: A thought experiment on extraterrestrial biospheres. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society** 78(2): 171-179.
- WOESE, C.R. & FOX, G.E. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 74(11): 5088-5090.
- YU, H. & LEADBETTER, J.R. 2020. Bacterial chemolithoautotrophy via manganese oxidation. **Nature** 583: 453-458.
- ZABINI, C. & SOUZA, M.A.M. 2016. Três conceitos biológicos/paleontológicos que seguem as diretrizes dos PCN do ensino médio para aplicação em aulas de Biologia. **Terrae Didatica** 12(2): 104-117.



Publicado em 25-11-2024



RESPEITE A VIDA NAS CIDADES



Foto: Tainá Silva – @taikth