

A ASTROBIOLOGIA E O PARADIGMA DA DISTRIBUIÇÃO DA VIDA NO UNIVERSO

Ana Paula Henrique Salvan

Resumo: Este artigo tem como base a condução de um estudo etnográfico num laboratório de Astrobiologia, o AstroLab, localizado na Universidade de São Paulo (USP). Entre 2020 e 2023, participei-observando, tanto remota quanto presencialmente, das pesquisas realizadas por um grupo de cientistas conhecidos como “astrobiólogos”, no intuito de mapear os questionamentos que eles buscam responder, bem como os recursos conceituais e materiais que mobilizam para fazê-lo. Regatando a história da Exobiologia, proponho que as práticas astrobiológicas atuais estão ancoradas por um paradigma — no sentido Kuhniano —, que embasa e embala as atividades desenvolvidas no laboratório. A partir desse entendimento, procuro seguir a noção de vida terrestre e extraterrestre que emana das práticas e discursos de meus e minhas informantes.

Palavras-chave: Astrobiologia; laboratório; etnografia; paradigma; vida extraterrestre.

Abstract: This article is based on an ethnographic study conducted at an Astrobiology laboratory — the AstroLab —, located at the University of São Paulo (USP). Between 2020 and 2023, I conducted participant-observation, both online and in person, amongst a group of scientists known as “astrobiologists”, with the aim of mapping out the questions they seek to answer, as well as the conceptual and material resources they mobilize to do so. Recalling the history of Exobiology, I propose that current astrobiological practices are firmly anchored by a paradigm — in the Kuhnian sense —, which underpins and informs the activities developed in the laboratory. Based on this understanding, I seek to follow the notion of terrestrial and extraterrestrial life that originates from the practices and discourses of my informants.

Keywords: Astrobiology; laboratory; ethnography; paradigm; extraterrestrial life.

“Astrobiologia é uma história de amizade; é uma ciência que depende de amizades,” comenta a professora de Paleontologia e colaboradora de longa data do AstroLab no seminário do dia 27 de abril, 2021. Ela fala sobre a coevolução da vida e do ambiente, e sobre como as coisas estão conectadas: fungos, minerais, poeira. Fala também de registros fósseis em planetas rochosos como a Terra, enfatizando que a definição de vida é “algo complicado”, pois não há um conceito fechado. Aí é que entra a Astrobiologia, indicando o que, onde e como procurar. “A Perseverance é um paleontologozinho em Marte: ela está fazendo o que os paleontólogos fazem aqui na Terra!”

Enquanto empreendimento científico atual, a Astrobiologia chamada de “multi, inter e até transdisciplinar” (Galante *et al.*, 2016, p. 17), organiza-se em torno do passado, presente e futuro da vida na Terra e de sua distribuição pelo Universo (Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012; Des Marais, 2008; Blumberg, 2003). Para acessar esse objeto de estudo, apoia-se num amplo arcabouço teórico-metodológico, uma vez que sua existência e continuidade dependem de recursos — materiais, conceituais, humanos — provindos de disciplinas já estabelecidas. Em outras palavras, o fazer astrobiológico é povoado por formações, métodos e teorias bastante heterogêneas.

Outrora conhecida como Exobiologia, a Astrobiologia é definida por seus praticantes como uma nova abordagem para questões antigas (Galante *et al.*, 2016). Apesar do nome, ela não envolve apenas Astronomia e Biologia. Tampouco lida exclusivamente com o além-Terra, uma vez que possíveis ecologias extraterrestres são pensadas à luz do único exemplar conhecido desse fenômeno, o terrestre. Chamada de “ciência emergente” (Galante *et al.*, 2016), dedica-se, ainda, a pensar o *Homo sapiens* como um possível vetor colonizatório dos planetas e satélites de nossa vizinhança cósmica, como Marte e a própria Lua.

É a Astrobiologia que ancora as práticas e os discursos que vicejam em um laboratório como o AstroLab, ou Laboratório de Astrobiologia, primeiro no país dedicado exclusivamente a abrigar esse tipo de pesquisa. Localizado no Instituto de Química (IQ), da Universidade de São Paulo (USP), acesso-o a partir de um estudo etnográfico conduzido entre 2020 e 2023.

Ao longo das próximas páginas, resgato a história da Astrobiologia para pensar como ela se constitui atualmente; como um campo científico multidisciplinar cuja prática é embasada e embalada pelo paradigma da vida enquanto um fenômeno cósmico, em vez de uma exclusividade terrestre. Emprego os enquadramentos propostos por Thomas Kuhn em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (1998) para caracterizar suas atividades de pesquisa como

“ciência normal”, conduzida por astrobiólogos e astrobiólogas a partir de certos quebra-cabeças considerados relevantes. É a partir desse trabalho que o fato astrobiológico por excelência poderá emergir, ou seja, a detecção de vida alhures.

1. A história de uma amizade

Ao longo de meu trabalho de campo com e sobre os e as cientistas do AstroLab, tive contato com pesquisadores de formações diversas: Agronomia; Astronomia; Biologia; Biomedicina; Biotecnologia; Engenharia Química; Paleontologia; Química; além de Ciências Moleculares, curso interdisciplinar oferecido pela USP. A Astrobiologia — ou simplesmente “*Astrobio*”, como tantas vezes ouvi e falei — configura-se como uma ciência-mosaico, um campo de investigação para o qual convergem múltiplas disciplinas, suas respectivas abordagens práticas e conceituais.

Quando uma monografia, uma dissertação ou tese é finalizada, por exemplo, ainda que o viés da pesquisa a associe à Astrobiologia, a graduanda ou pós-graduanda receberá um diploma de sua área de formação, uma vez que, no momento, não há um curso de graduação ou pós-graduação propriamente dito de Astrobiologia no Brasil (Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012). Os e as astrobiólogos — a quem o antropólogo Stefan Helmreich (2009, p. 253) chama de “*biologists of the extraterrestrial*” — são cientistas que, a partir de sua formação inicial, direcionam sua pesquisa de maneira a associá-la a um dos três eixos temáticos que organizam o campo astrobiológico:

- 1) Como a vida se inicia? Como esse processo se originou na Terra?
- 2) Como a vida se distribui pelo Universo e como podemos detectá-la?
- 3) Qual é o futuro da vida na Terra? O *Homo Sapiens* se tornará uma espécie interplanetária? (Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012; Blumberg, 2003; Morrison, 2001).

Diferentemente dos e das biólogas, todavia, os e as astrobiólogas tomam os expoentes já conhecidos da vida e os projetam, experimentam, ensaiam sob distintas configurações ambientais a fim de perscrutar seus arranjos e caminhos adaptativos, seus mecanismos de resistência, suas possibilidades de sobrevivência em paisagens alienígenas. Estão ativamente engajados em experimentos que associam o terrestre e o extraterrestre, o

conhecido e o desconhecido. Agem desta forma ao tomar como possível, e até provável, que a vida exista ou tenha existido em outras paragens de nosso Sistema Solar e além, como, por exemplo, no planeta Marte e no satélite galileano Europa, ambos frequentemente invocados no discurso astrobiológico.

No Brasil, esse campo de investigação começou a tomar forma a partir do I Workshop Brasileiro em Astrobiologia, em 2006. Este evento agregou pesquisas até então isoladas, colocando em contato pesquisadores e propiciando a formação de grupos de estudo interdisciplinares e de uma comunidade de interessados na área (Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012). Dessas colaborações, nasceu, já em 2009, a ideia de um espaço no qual fosse possível realizar experimentos, testando e simulando condições ambientais de outros planetas e até do vácuo espacial.

Entre esses e essas cientistas, predomina o entendimento de que só poderemos apreender e aprender sobre uma potencial vida extraterrestre a partir do que conhecemos desse fenômeno na Terra; sua elasticidade, sua relação com a paisagem, bem como as contingências históricas que moldaram seus caminhos. Nem sempre, porém, foi assim.

1.1 De *Exo* para *Astro*

O atual programa de Astrobiologia foi oficialmente instituído pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) no biênio 1997-98, a partir da reformulação de seu antigo programa de Exobiologia, ativo desde a década de 1960 (Marcheselli, 2018; Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012; Billings, 2012; Blumberg, 2003). Referências a ambos os termos podem ser encontradas já no final da primeira metade do século passado, juntamente com os similares “astrobotânica”¹, “xenobiologia”, “xenologia” e “bioastronomia” (Rodrigues *et al.*, 2012; Blumberg, 2003; Barcelos, 1991).

É de um brasileiro um dos primeiros usos registrados de “Astrobiologia” para designar uma área de interesse científico; o professor e biólogo Flávio Augusto Pereira (Rodrigues *et al.*, 2012; Blumberg, 2003; Barcelos, 1991; Pereira, 1958). Em *Introdução à*

¹ A palavra “astrobotânica” tem relação com a aparente detecção de vegetação na superfície marciana. De acordo com Barcelos (1991), o termo foi difundido no século XX pelo astrônomo soviético Gavrili Tikhov, mas caiu em desuso após estudos inconclusivos. Flávio A. Pereira posiciona a Astrobotânica como a versão soviética da Astrobiologia norte-americana (1958).

Astrobiologia, obra publicada em 1958, Pereira faz um compilado das discussões vigentes na época sobre ecologias planetárias, origem da vida e inteligência extraterrestre, e distingue estudos e tratados astrobiológicos de uma literatura que classifica como “pseudocientífica”². Aborda também a escola soviética de astrobotânica, que se organizava em torno de repetidas observações de manchas escuras em algumas regiões de Marte, interpretadas como “vegetação”³ por seus astrônomos, bem como seu diálogo com os cientistas norte-americanos e franceses.

No que tange à existência de vida extraterrestre, o autor a considerava um “imperativo cósmico” e enfatizava regularidades e a universalidade das “ciências naturais”.

A Astronomia é universal. A Mineralogia, universal. A Física, idem. A Química, ibidem. Não será a Biologia, repito, a primeira ciência humana a fugir à natural contingência [...]. Sendo as leis físicas leis cosmológicas, pois elétrons, núcleos e mésons comportam-se da mesma maneira em todo o Cosmos, serão igualmente cosmológicas as “leis” biológicas. (Pereira, 1958, p. 22).

A universalidade das leis biológicas, para Pereira (1958), todavia, não implicava a existência de floras e faunas exatamente iguais às terrestres em outros planetas e galáxias, mas, sim, que a vida obedeceria às leis biológicas já conhecidas onde quer que se manifestasse. Assim como não se concebem “químicas locais” nem “astronomias planetárias adstritas a cada galáxia”, assim também não haverá “biologias” específicas de cada globo ou cada universo-ilha.” (Pereira, 1958, p. 24). Ele faz uma analogia com a história da Terra conforme interpretada pelos paleontólogos a partir do registro fóssil: “Os fósseis da era paleozoica enquadram-se, quase todos, nos grandes tipos estruturais que hoje existem. Encarados individualmente, seriam,

² Pereira chama de pseudocientífica a literatura que dá ao tema da vida extraterrena uma conotação mística-religiosa, frequentemente por meio de livros “psicografados”. Para o biólogo, “não se pode admitir como método de pesquisa astrobiológica o processo ‘mediúnico’. Não que **a priori** seja errôneo ou falso mas porque a Parapsicologia, único ramo do conhecimento humano capacitado para julgá-lo, ainda não firmou jurisprudência a respeito.” (1958, p. 50, grifo do autor). Ele cita, por exemplo, um artigo do espírita Allan Kardec, que, apesar de trazer “ideias luminares”, cai no equívoco de uma antropomorfização dos alienígenas e apresenta “caráter mediúnico”.

³ Curiosamente, em julho de 2024, um artigo foi publicado por pesquisadores chineses propondo um musgo chamado *Syntrichia caninervis* como organismo pioneiro para a colonização de Marte, já que parece extremamente resistente à baixa temperatura, dessecação e radiação, condições predominantes naquele planeta. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100657>. Acesso em: 15 jul. 2024.

contudo, criaturas abismais (“de outro planeta”...).” (Pereira, 1958, p. 23). Há, portanto, o entendimento de que seres extraterrenos poderiam ser identificados e enquadrados conforme o conhecimento científico terrestre.

Por fim, declara:

Eis a ideia-máter central da Astrobiologia: a vida não constitui fato único, singular, isolado no tempo e no espaço. Pelo contrário, participa dos propósitos incluídos, digamos assim, no programa inaugural do universo. Onde puder surgir, surgirá. Surgirá e seguirá, por epigênese, evolução conforme normas, regras e padrões fundamentais estudados e sugeridos pela Biologia. (Pereira, 1958, p. 25).

Rodrigues *et al.* (2012) argumentam que tal definição é ligeiramente distinta da atual, embora não seja incompatível com ela. Pereira, alertam os autores, já se dava conta da importância da compreensão da vida na Terra para o entendimento da vida além dela (Rodrigues *et al.*, 2012). Além de contribuir para o desenvolvimento do campo no Brasil, Pereira também foi um dos fundadores da Sociedade Interplanetária Brasileira⁴ e atuou no sentido de convencer o governo da importância de se ter uma agência espacial, o que, mais tarde, em 1994, acabou se tornando realidade por meio da AEB - Agência Espacial Brasileira (Rodrigues, *et al.*, 2012; Barcelos, 1991).

Chama atenção o fato de Pereira ter sido também um ufólogo, ou seja, estudioso dos “UFOs”⁵ e demais fenômenos associados, chegando a prefaciar a edição em português de *Eram os deuses astronautas?* do escritor suíço Erich von Däniken (1976). Para Rodrigues *et al.* (2012), isso se deve ao fato de que, na época, não havia uma demarcação clara entre a Ufologia e a pesquisa científica. “Even for the international scientific community, the search for extraterrestrial life was frequently associated with the search for intelligent extraterrestrial life.” (Rodrigues *et al.*, 2012, p. 191).

⁴ Na condição de presidente, organizou e presidiu o “Primeiro Colóquio Brasileiro Sigiloso sobre Objetos Voadores Não-Identificados,” que reuniu em São Paulo [...] cerca de trinta e cinco estudiosos brasileiros, na maioria engenheiros, médicos, advogados, aeronautas e jornalistas, todos preocupados com a significação sociológica e científica do problema dos chamados “discos voadores” (Pereira, Nota da editora, 1958).

⁵ UFO é a abreviação de “*Unidentified Flying Objects*”. Em português, o termo “óvni” é mais aceito, embora neologismos como “Ufologia”, “ufólogo” e “ufonauta”, que mesclam a raiz estrangeira a sufixos locais, sejam disseminados.

De fato, o contexto da obra de Pereira coincide com o início das tensões pós-Segunda Guerra Mundial entre Estados Unidos e União Soviética; disputa político-ideológica que se materializou tanto na eclosão de conflitos em diversos países do globo quanto em projetos de exploração do espaço sideral. Barcelos (1991) argumenta que instrumentos como o radiotelescópio e a sonda espacial só surgem a partir do financiamento e envolvimento militar. O lançamento do primeiro satélite artificial a orbitar nosso planeta, o Sputnik I (1957), seguido pelas primeiras sondas lunares, Lunik II e III (1959), o envio de Yuri Gagarin ao espaço (1961), da sonda Mariner II a Vênus (1962), e a aterrissagem dos primeiros astronautas na Lua, em 1969, bem como o lançamento do programa Venera (1961-84) e das missões Viking (1975), exemplificam essa relação entre a disputa geopolítica e a pesquisa científica.

That period, marked with the launch of the Sputnik satellite in 1957 by the former Soviet Union, was characterized by the fascination that many people had with Mars and by studies that described signs of life on that planet. Not that the interest was new, it had only been refreshed by the space race. (Rodrigues et al., 2012, p. 190).

Com esse novo alcance propiciado pelo financiamento militar, as especulações a respeito da existência de vida, sobretudo marciana e venusiana, ganhou um novo fôlego. Uma série de artigos e experimentos considerados pioneiros e fundadores das iniciativas de busca por vida e por inteligência extraterrestre datam desse período (Billingham, 2014; Billings, 2012; Barcelos, 2001; 1991).

A virada da década de 50 para a de 60 marca o auge das especulações sobre extraterrestres. Mas enquanto a ufologia preparava-se para seguir o caminho do ostracismo oficial e da marginalização em associações espontâneas de "leigos" interessados, no meio científico uma nova abordagem do problema etí se consolidava: a SETI - «Search for Extraterrestrial Intelligence». (Aranha Filho, 1990, p. 23).

O biênio 1959-60 foi particularmente profícuo nesse sentido⁶. Em setembro de 1959, os físicos Giuseppe Cocconi e Philip Morrison publicaram um artigo na revista *Nature*, intitulado “*Searching for Interstellar Communications*”, sugerindo que a faixa das micro-ondas do espectro eletromagnético poderia ser utilizada para enviar e receber mensagens através do espaço. Esse é considerado um dos marcos iniciais dos projetos SETI, focados na detecção de sinais artificiais produzidos por sociedades tecnológicas extraterrestres (Garber, 2014; Barcelos, 1991).

Radio waves travel at the speed of light and are not absorbed by cosmic dust or clouds. Thus, if scientists tuned radio telescopes to the right portion of the spectrum, they might be able to detect a pattern of radio waves that indicated extraterrestrial intelligence. Our own radio and television broadcasts had been drifting into space for a number of years already. (Garber, 2014, p. 24).

Em 1960, paralelamente ao trabalho dos físicos, o astrônomo norte-americano Frank Drake realizou um experimento no Observatório de Green Bank, que consistia em monitorar emissões de estrelas próximas em busca de padrões artificiais que indicassem a presença de sociedades tecnológicas (Garber, 2014). O Projeto Ozma, como ficou conhecido, não identificou tais sinais, mas a ideia serviu de inspiração e embasamento para buscas posteriores. Frank Drake também é creditado pela formulação da equação para estimar o potencial número de civilizações comunicantes em nossa galáxia. Essa fórmula, conhecida como “Equação de Drake”, é utilizada até hoje; não exatamente para quantificar o desconhecido, mas como ferramenta com a qual pensá-lo, aproximar-se dele sensorial e conceitualmente (Garber, 2014)⁷.

⁶ Aqui, apoio-me na dissertação (1991) do historiador Eduardo Barcelos, bem como no livro publicado a partir de sua tese de doutorado (2001). Diferentemente da consideração de Latour e Woolgar, em diálogo com Harry Collins (1997, p. 21), de que é preciso “sair definitivamente do conforto intelectual dos historiadores que estão sempre chegando atrasados”, acredito ser impossível estudar uma ciência atual sem levar em conta seu histórico de controvérsias e revoluções. Esse resgate, que envolve “ler” e “dialogar” com fontes históricas, faz parte do ofício do historiador e, acredito, embasa nossas próprias descrições etnográficas.

⁷ A equação de Drake é representada por: $N = R^* \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L$. Respectivamente, as letras representam o número total de civilizações extraterrestres na Via Láctea com as quais poderíamos estabelecer contato; a taxa de formação de estrelas na galáxia; a porção das estrelas orbitadas por planetas; o número médio de planetas que potencialmente permitiriam que a vida se desenvolvesse; seguido pela fração desses planetas que abrigaria vida

A Equação de Drake lembra os “domínios de proximidade” que Rafael Almeida identificou na prática de seus interlocutores, os ufólogos, para enredar os óvnis, a quem o antropólogo chama de “máquinas de fazer segredo” (ALMEIDA, 2015, p. 39). Esses domínios de proximidade envolvem entrevistas com testemunhas, coleta de evidências materiais, triangulações dos avistamentos e comparação com posicionamento de satélites, reuniões e publicações em periódicos próprios. No caso dos astrônomos, os domínios de proximidade envolvem equações, artigos, radiotelescópios, emissões de ondas de rádio, e projetos de busca focados em certas faixas do espectro eletromagnético. Em se tratando de exoplanetas — longínquos aglomerados de matéria que orbitam outras estrelas⁸ —, envolvem também, segundo Messeri (2011, p. 17), diferentes formas de “place-making - visualizing, inhabiting, mapping, and narrating”, que acabam por produzir “planets as places.”

Ainda em 1960, o biólogo Joshua Lederberg — já detentor de um Nobel em Medicina — publicou um artigo na revista *Science*, propondo: “Exobiology is no more fantastic than the realization of space travel itself and we have a grave responsibility to explore its implications for science and for human welfare with our best scientific insights and knowledge” (Lederberg, 1960, p. 399, apud Billings, 2012, p. 3). Barcelos (1991), inclusive, atribuiu a popularização do termo “Exobiologia” ao artigo de Lederberg.

Lederberg persuadiu a recém-fundada NASA⁹ a investir em estudos de vida microscópica extraterrestre, em parte, segundo Reinecke e Bimm (2022), no intuito de minimizar o risco de contaminação cruzada, ou seja, que veículos espaciais carregassem micróbios terrestres para o espaço e, outrossim, que trouxessem micróbios extraterrestres para nosso planeta. De fato, um ano após sua fundação, a NASA começou a financiar experimentos de detecção de vida, alguns dos quais seriam, futuramente, acoplados às missões Viking, que tinham Marte como destino (Galante *et al.*, 2016; Billings, 2012; Blumberg, 2003)¹⁰.

inteligente; seguido pela fração de civilizações com os meios e o desejo de se comunicar; por último, o tempo médio de vida/existência de tais civilizações.

⁸ Os exoplanetas e os astrônomos que os estudam são o foco da tese de Lisa Messeri (2011), que investiga como esses cientistas tecem aproximações com seus objetos de estudo.

⁹ A agência espacial norte-americana foi fundada em 1958.

¹⁰ Três experimentos foram realizados no regolito marciano, cada um baseando-se em uma pressuposição diferente a respeito do tipo de vida e das condições ambientais a serem encontradas (Galante *et al.*, 2016; Billings, 2012; Blumberg, 2003).

O Programa de Exobiologia da NASA nasce, portanto, ancorado em experimentos, debates e publicações como os produzidos por Drake, Cocconi, Morrison e Lederberg, e fortemente associado à exploração espacial (Kaufman, 2022; Billingham, 2014; Billings, 2012; Barcelos, 1991). Naquele contexto, a busca pela alteridade extraterrestre teve início a partir de um contexto geopolítico conflituoso, bem como de um paralelo com os seres e vozes da Terra, micro ou macroscópicos, orgânicos, cibernéticos ou maquínicos.

1.1.1 Através do espelho

Em Aranha Filho (1990), encontramos um estudo aprofundado a respeito das contribuições do astrônomo estadunidense Carl Sagan para o campo da Exobiologia e dos projetos SETI¹¹ no contexto da Guerra Fria. Além de prolífico escritor e divulgador científico, Sagan esteve, ao longo de sua vida, envolvido com diversos projetos que buscavam detectar vida e inteligência além da Terra, como as já citadas missões Viking, e as sondas Pioneer e Voyager¹². Foi da passagem desta última pelos confins do Sistema Solar, aliás, que surgiu a famosa imagem conhecida como “Pálido Ponto Azul”; um enquadramento fotográfico no qual a Terra equivale a um ponto menor que um pixel suspenso na infinitude do espaço. A ideia, também atribuída a Sagan, tornou-se inspiração para um livro de mesmo nome (Aranha Filho, 1990).

Entre suas inúmeras colaborações, destaca-se o trabalho com o astrônomo soviético Iosif Shklovsky, que resultou na tradução de seu livro *Вселенная, жизнь, разум* (1962) para *Intelligent Life in the Universe* (Billingham, 2014; Barcelos, 1991). Esse trabalho indica uma colaboração entre cientistas de ambos os lados da cortina de ferro durante a Guerra Fria, pelo menos no que tange à busca por vida extraterrestre. Além de Sagan e Shklovsky, publicações

¹¹ Entre suas publicações, o romance “*Contato*” (1985) ilustra o que seria, para o autor, uma busca bem-sucedida e, de fato, um contato com formas de vida dotadas de sensibilidade e tecnologia semelhantes às humanas.

¹² Vale lembrar que até hoje essas sondas singram o espaço interestelar carregando as placas com as “digitais da vida na Terra”. Para uma análise detalhada da composição das mensagens enviadas a um potencial interlocutor extraterrestre, ver a dissertação de Jayme Aranha Filho “*Inteligência Extraterrestre e Evolução: As especulações sobre a possibilidade de vida em outros planetas no meio científico moderno*” (1990).

de cientistas soviéticos como Nikolai Kardashev¹³ e Gavriil Tikhov também provocaram trocas e debates com cientistas estadunidenses e de outras nacionalidades (Barcelos, 1991).

Por fim, o livro de Flávio Pereira (1958) corrobora esse intercâmbio científico ativo entre União Soviética e Estados Unidos, sobretudo em relação à detecção e ao entendimento da natureza de uma suposta vegetação marciana.

Enquanto os soviéticos interpretam as diferentes regiões coloridas de Marte como devidas a manchas de vegetações “superiores” dotadas de órgãos e tecidos complexos, como raízes e folhagens, os norte-americanos recusam-se a admitir em Marte a presença a não ser de líquens. (Pereira, 1958, p. 83).

O debate, entretanto, parece ter arrefecido com as primeiras observações diretas da superfície marciana, que revelaram uma superfície desertificada.

1.2 Exobiologia = SETI?

Chama atenção que, ao longo de suas quatro décadas de existência no século XX, a Exobiologia, pelo menos nos Estados Unidos, parece ter sido empregada como um sinônimo para a SETI, sendo os termos intercambiáveis. Encontramos em Barcelos (1991) a identificação da Exobiologia com os projetos de detecção de vida extraterrestre inteligente que, hoje, são exclusivamente associados à SETI. Segundo o historiador (1991, p. 3):

A exobiologia irá surgir a partir da restrição de uma questão ampla, ou seja, como sinônimo de radiodetecção de sinais interestelares de origem inteligente. A moderna exobiologia, em suas origens (e essencialmente até o presente), equivale à SETI, ou ainda, à rádio-SETI.

¹³ Kardashev elaborou uma escala para medir o potencial tecnológico de eventuais civilizações extraterrestres e compará-los com a Terra. Ele imaginou e descreveu civilizações de nível I, II e III no que ficou conhecido como “Escala de Kardashev”, desde então atualizada para acomodar civilizações de nível IV e V (Aranha Filho, 1990).

Todavia, mesmo sendo consideradas equivalentes, Barcelos identificou distintos métodos e objetivos:

A escolha de meios e objetivos da exobiologia pressupõe também uma caracterização particular de seu objeto. Almeja-se a busca, precipuamente, no interior da SETI, de inteligência extraterrestre em estágio tecnológico semelhante. Embora as propostas dos exobiólogos espraíem-se por uma vasta área de objetos e metas (formas de vida inferiores em superfícies planetárias – Lederberg, 1961; identificação de civilizações dos tipos II e III – Kardashev, 1964) é na circunscrição à detecção de civilizações tecnológicas análogas que estas estão concentradas. (BARCELOS, 1991, p. 3).

O historiador situava a detecção de microrganismos extraterrestres dentro dos esforços exobiológicos, mas admoestava que a Exobiologia enquanto ciência nascente buscava, *a priori*, sociedades análogas, isto é, sociedades que dispunham do mesmo nível tecnológico que o Ocidente tecnocrático. Televisões, computadores, rádios e telescópios; as sociedades projetadas eram espelhos de nossas próprias façanhas tecnológicas. As mensagens anexadas às sondas Voyager e Pioneer, inclusive, eram destinadas a potenciais interlocutores que idealmente contariam com tecnologia e percepção sensorial afins às humanas.

O outro ocidental tende a ser uma forma do mesmo, apenas deslocado na linha da história. Pois a eti virá ocupar incomodamente o lugar de duplo do homem ocidental, confrontando-o com os seus valores da história e da ciência, aguçando a sua crença no progresso assim como o seu temor pela decadência. (Aranha Filho, 1990, p. 7)¹⁴.

A despeito do prestígio de seus proponentes — Lederberg, Sagan, Drake, para citar alguns —, Barcelos (2001; 1993) mapeia a problemática aceitação da Exobiologia enquanto “ciência com C maiúsculo” (Pícaro, 2007, p. 10) pela comunidade científica norte-americana. O historiador compila e compara os argumentos dos proponentes da Exobiologia enquanto ciência legítima, e a de seus detratores, que a chamavam de ciência “procariota”, isto é, sem

¹⁴ ETI é a abreviação para “*Extraterrestrial intelligence*” ou, em português, “Inteligência extraterrestre”.

núcleo, “posto que ainda não demonstrou a existência de seu objeto de estudo.” (Barcelos, 1993, p. 29)¹⁵.

Há um crescente reconhecimento da existência de uma nova ciência da vida extraterrestre, algumas vezes chamada de exobiologia — um curioso desenvolvimento em vista do fato de que esta “ciência” ainda tem que demonstrar que seu objeto de estudo existe. (Simpson, 1964, p. 769, apud Barcelos, 1993, p. 35).

Se, por um lado, havia a sugestão de que se deveria endossar a Exobiologia como uma “forma de aproveitamento parasitário — oportunista — da exploração espacial” (Barcelos, 1993, p. 33), do outro, havia uma denúncia de base popperiana de que a Exobiologia, tendo em vista a impossibilidade de comprová-la ou refutá-la, consistiria num “desperdício injustificado do erário público” (Barcelos, 1993, p. 37). Aranha Filho (1990) identificou uma cisão epistemológica entre os adeptos da probabilidade da emergência de vida, e, sobretudo, de vida inteligente, no Universo, e os que se mostravam céticos à ideia:

[...] os adeptos da tese da existência de eti predominam entre os cientistas físicos. Alguns microbiólogos e biólogos moleculares, e uns poucos “romantic organismic biologists” a eles se juntam. Mas quase a unanimidade dos biólogos são céticos quanto ao assunto. Para Mayr, o motivo desta distribuição da divergência de opiniões tem uma raiz epistemológica. Cientistas de formação física (apesar dos abalos da mecânica quântica) tendem a uma concepção determinista dos fenômenos enquanto a biologia lida com processos, como a evolução, essencialmente “oportunisticos e imprevisíveis” [sic.]. Para um astrônomo, a existência de vida em um planeta inevitavelmente implica, fornecido o tempo suficiente para a atuação da evolução, no aparecimento de vida inteligente humanoide. [...] Um biólogo, ao contrário, impressiona-se com a extrema improbabilidade de uma espécie inteligente ter surgido na Terra. (Aranha Filho, 1990, p. 14 – relatório de redação).

Em *Biologia: Ciência Única* (2005, p. 223-224), Ernst Mayr propõe o seguinte posicionamento entre os biólogos:

¹⁵ Para uma relação completa de todos os argumentos, seus exemplos e proponentes, ver Barcelos (1993).

Quando leigos falam de vida no universo, em geral querem dizer extraterrestres semelhantes a seres humanos. [...] Em contraste, quando biólogos falam de vida eles pensam em complexos moleculares. Isso, obviamente, envolve decidir o que é vida. Eu aceito uma definição ampla: a vida precisa ser capaz de replicar-se e fazer uso de energia ou do Sol ou de certas moléculas disponíveis, como sulfetos em fontes termais no mar profundo. Esse tipo de vida consistiria em bactérias ou mesmo em agregados moleculares ainda mais simples. Biólogos especializados nesse campo tendem a achar que é extremamente provável o surgimento repetido desse tipo de vida em planetas por todo o universo.

Tais debates entre essas duas vertentes, escolas e/ou tradições do pensamento científico marcaram o desenvolvimento da Exobiologia no século XX. Eles ecoavam posicionamentos históricos identificados como “singularismo” e “pluralismo” (Pícaro, 2007; Barcelos, 2001; 1993; Tipler, 1981). O primeiro assegurava a Terra como único planeta a abrigar vida e inteligência na galáxia e até no Universo; o segundo, pelo contrário, embasava-se no princípio da “mediocridade” para defender que planetas habitáveis e habitados seriam a regra, e não a exceção.

Tipler (1981) resgata o posicionamento de alguns expoentes da filosofia greco-romana ao analisar o alcance histórico da divergência entre singularistas e pluralistas. Filósofos como Demócrito, Epicuro, Tales de Mileto, Heráclito e Plutarco endossavam o princípio da plenitude e a ideia de que havia, ou poderia haver, outros mundos habitados. “Mundo”, entretanto, carregava então uma conotação condizente com o modelo Ptolomaico, que posicionava a Terra num centro orbitado pela Lua e pelo Sol, além de planetas e estrelas fixas. A ideia de “outros mundos”, portanto, pressupunha vários desses universos autocontidos, cada um com uma “Terra” no centro (Tipler, 1983). Para o autor, o princípio da mediocridade, defendido pelos pluralistas do século XX, reensaiava o princípio da plenitude.

Opunham-se à ideia da pluralidade de mundos habitados, entretanto, Platão e Aristóteles. Para Tipler (1983, p. 134), Platão:

[...] did admit that the question of habitability of the planets was open, though he himself believed that Earth was unique in this regard. The world system of Aristotle left no room for either a plurality of worlds or for inhabitants on the planets, and he argued at length against both these doctrines.

Sob o modelo aristotélico e a astronomia Ptolomaica, toda a subsequente cosmologia ocidental até Copérnico e sua proposta de um sistema heliocêntrico, descentralizador da Terra, adotou o pressuposto de que o nosso era o único planeta habitado. Com o heliocentrismo, entretanto, sob a influência de Copérnico, a balança parecia pender ora para um lado, ora para o outro; Nicolau de Cusa e Giordano Bruno eram favoráveis ao pluralismo, Kepler, um tipo intermediário e Galileu, abertamente contrário à ideia (Barcelos, 2001; Tipler, 1983). Debates nesse sentido continuaram ao longo dos séculos XVII e XVIII, passando por Voltaire, Kant, Hume e Laplace.

Barcelos (2001, p. 19) pondera que, nessa época, a ideia pluralista:

[...] não era cogitada como um campo específico de estudo científico, mas sim como consequência de um paradigma astronômico — o heliocentrismo — associado a outras suposições. [...] Apesar das múltiplas e complexas mudanças sofridas pela astronomia desde o século XVIII, é dentro de um quadro cada vez mais amplo e vasto que o homem atual é situado.

O antropólogo Daniel Pícaro (2007, p. 123) adere ao mesmo entendimento:

[...] a percepção que os Singularistas têm do ser humano vai exatamente no sentido oposto daquele em que se direciona a dinâmica da própria Filosofia e da Ciência Ocidental, que pelo menos desde o Renascimento, com a chamada “Revolução Copernicana”, vêm retirando do Homem o papel de protagonista do Universo.

No final do século XIX, a figura do extraterrestre ganhou um novo sopro de vida com as observações efetuadas pelo astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli e, mais tarde, confirmadas pelo estadunidense Percival Lowell. Ambos mapearam um sistema de “canais” marcianos, que foi interpretado, sobretudo por Lowell, como fruto do engenho de uma suposta civilização nativa, cujo objetivo seria transportar água numa paisagem cada vez mais desértica. Já no início do século XX, o também astrônomo Vincenzo Cerulli propôs que as estruturas não passavam de formações geológicas, arrefecendo a controvérsia. Suas observações foram, mais

tarde, confirmadas pelas sondas Mariner 6 e 7 (Rodrigues *et al.*, 2012; Barcelos, 2001; 1991; Dick, 1996; Tipler, 1981).

O pluralismo recuperou credibilidade com a detecção dos primeiros exoplanetas na década de 1990, o que comprovava a tese de que havia, de fato, uma infinidade de mundos nos quais seres vivos poderiam ter se desenvolvido, tal qual ocorrera na Terra. Pelo menos em termos geológicos, nosso planeta comprovadamente não era único. Um típico pensamento pluralista foi expresso por Shapley (1963, p. 62, apud Barcelos, 2001, p. 12):

[...] nosso planeta é pequeno. Ele circula uma estrela comum e amarelada de meia-idade. Esta estrela (o Sol) está localizada na tenuamente povoada estrutura externa de uma grande galáxia que contém ao redor de 100 bilhões de outras estrelas, das quais alguns bilhões devem ser essencialmente idênticas ao Sol. Que o nosso planeta seja o único lugar onde a vida emergiu seria uma suposição ridícula. Aqueles que conhecem o vasto número de estrelas, os caminhos naturais do surgimento dos planetas e o aparentemente automático modo com que a vida emerge quando as condições são adequadas — não mais hesitariam em acreditar que a vida é um fenômeno de extensão cósmica.

Os singularistas, entretanto, opunham-se à ideia. Esse “diálogo de surdos”, para o qual Kuhn (1998, p. 144) chamou atenção, em que há um vai e vem de argumentos, contra-argumentos e até acusações, é característico do período que ele batiza como pré-paradigmático. Nesse momento, que antecede a emergência de um paradigma plenamente aceito, abundam abordagens distintas para os mesmos problemas.

[...] os primeiros estágios do desenvolvimento da maioria das ciências têm-se caracterizado pela competição entre diversas concepções de natureza distintas; cada uma delas parcialmente derivada e todas apenas aproximadamente compatíveis com os ditames das observações e do método científico. (Kuhn, 1998, p. 23).

Falando a respeito da óptica, Kuhn (1998) propõe que nenhuma concepção a respeito da natureza da luz proposta entre o fim da Idade Clássica e o século XVII foi universalmente aceita. “Em vez disso, havia um bom número de escolas em competição, a maioria das quais esposava uma ou outra variante das teorias de Epicuro, Aristóteles ou Platão.

[...] Cada uma das escolas retirava forças de sua relação com alguma metafísica determinada.” (1998, p. 23).

O Paradoxo de Fermi, inicialmente proposto na forma do questionamento “*Onde está todo mundo?*”¹⁶, bem como as respostas que ele suscitou, exemplifica essa diversidade de abordagens e posicionamentos. Formulado durante um debate entre Enrico Fermi e outros físicos, o enigma da não detecção gerou respostas diametralmente opostas; de um retorno ao singularismo à Hipótese do Zoológico¹⁷.

Barcelos (1991, p. 6) pondera:

O que interessa reportar é que a impossibilidade de distinguir com precisão os contornos do problema ocasionou tal prolixidade e diversidade explicativa. A variação das premissas adotadas (ligadas as diferentes “escolas”) tem como termo a possibilidade de, acatando os mesmos dados, atingir-se conclusões diferenciadas. O balanço da controvérsia exobiológica, até a década de 1980, por Brin (1983) mapeia a multiplicidade das teses, geralmente formuladas a partir de derivações de pontos específicos de autores da mesma “escola”.

Kuhn (1998) vê essa proliferação de teses e o caos-teórico metodológico como característico da etapa pré-paradigmática de qualquer ciência.

Não é de admirar que nos primeiros estágios de desenvolvimento de qualquer ciência homens diferentes confrontados com a mesma gama de fenômenos — mas em geral não com os mesmos fenômenos particulares — os descrevam e interpretem de maneiras diversas. (Kuhn, 1998, p. 37).

De acordo com Margaret Masterman (1979), no período que Kuhn chama de “pré-paradigmático”, a atividade já é científica. Ela identifica, por exemplo, dois estágios diferentes

¹⁶ Mais exatamente: “Se parece altamente provável a evolução de seres inteligentes extraterrestres, então, onde “eles” estão?” (Barcelos, 1991, p. 5).

¹⁷ Diz respeito ao entendimento de que os extraterrestres não desejam contato e propositalmente nos manteriam isolados numa espécie de zoológico galáctico (Barcelos, 2001; 1991).

dentro dessa etapa de formação: um momento de ciência não paradigmática e um momento de ciência pluriparadigmática. O primeiro corresponderia ao “the state of affairs right at the beginning of the process of thinking about any aspect of the world, i.e. at the stage when there is no paradigm.” (Mastermann, 1979, p. 73). Esse primeiro momento, nas palavras de Masterman (1979), contrasta profundamente com o segundo, no qual abundam respostas e abordagens para um mesmo problema percebido. Aqui, apesar de não haver um paradigma unificando o campo e a prática dos e das cientistas, há múltiplos paradigmas em competição. Essa leitura parece corresponder à prolixidade identificada por Barcelos na Exobiologia do século XX.

Cabe dizer que, na década de 1990, Barcelos (1991, p. 12), entretanto, evitou falar em “paradigma exobiológico”, alegando que “[...] não nos pareceu adequada a categorização de “paradigma” kuhniano ou “programa de pesquisa” lakatosiano”. O historiador optou por enquadrar os singularistas e os pluralistas, por exemplo, como “escolas vigentes” dentro da Exobiologia. Essa denominação corrobora o pensamento de Kuhn (1998), que também tratou grupos pré-paradigmáticos como “escolas”.

O período pré-paradigmático, em particular, é regularmente marcado por debates frequentes e profundos a respeito de métodos, problemas e padrões de solução legítimos — embora esses debates sirvam mais para definir escolas do que para produzir um acordo. (Kuhn, 1998, p. 72-73).

Depois que uma teoria e/ou abordagem passa a ser aceita por uma comunidade, todavia, essa prolixidade de abordagens desaparece.

Quando pela primeira vez no desenvolvimento de uma ciência da natureza, um indivíduo ou grupo produz uma síntese capaz de atrair a maioria dos praticantes de ciência da geração seguinte, as escolas mais antigas começam a desaparecer gradualmente. Seu desaparecimento é em parte causado pela conversão de seus adeptos ao novo paradigma. (Kuhn, 1998, p. 39).

O paradigma, nesse sentido, seria uma síntese, uma proposta de trabalho, capaz de gerar algum consenso e unificação do campo. Masterman (1979, p. 69 - grifo da autora), por

sua vez, chamou de “trick, or embryonic technique, or picture, *and an insight that this is applicable in this field.*” A partir desse truque, uma comunidade de cientistas coalesce em torno de compromissos de pesquisa e certas práticas.

Diferentemente do estágio pré-paradigmático que caracterizou a Exobiologia no século passado, cujas atividades, embora científicas, eram dispersas em escolas e abordagens distintas, proponho que a reformulação do programa exobiológico no programa de Astrobiologia na década de 1990 promoveu uma unificação do campo em torno de compromissos de pesquisa e práticas comuns. A Astrobiologia, hoje, organiza-se ao redor de problemas bem definidos, e seus praticantes têm à sua disposição todo um arcabouço teórico-metodológico. É uma ciência que dispõe de financiamento, laboratórios, periódicos, projetos e tecnologia, que possui comunidades nacionais e internacionais, além de um intercâmbio constante entre elas, e que, sobretudo, sabe quais perguntas fazer e de que forma tentar respondê-las.

2. A Astrobiologia do século XXI e “os escolhidos”

Com a criação do Instituto de Astrobiologia, o NAI (*NASA Astrobiology Institute*), as pesquisas em Exobiologia passaram a ser apenas uma vertente dentro de um campo de investigação mais bem delimitado, que incluía estudos sobre as origens da vida na Terra, bem como sua coevolução com o ambiente ao longo das eras (Galante *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2012; Blumberg, 2003). O empreendimento astrobiológico está sedimentado na proposta de compreender os seres vivos e as ecologias terrestres para, então, buscar e ensaiar possíveis seres e ecologias nativas de outros astros. Nesse movimento, deixou de constituir uma ciência “procaríota”, sem núcleo, uma vez que a vida está e esteve presente em nosso planeta natal por bilhões de anos.

Houve ainda, uma cisão com projetos SETI, que, a partir de 1994, foram cortados do orçamento da NASA, perdendo seu financiamento público. Pícaro (2004, p. 134) pondera:

Nas últimas décadas do século XX, a frustração das milhares de horas de pesquisa rádio-telescópica cobrava seu preço à credibilidade da Exobiologia. Já fazia-se então presente a contestação das pesquisas SETI e o questionamento dos postulados exobiológicos. Esses eram, doravante, poderosos indícios da falência da suposta Racionalidade conquistada pela Exobiologia, agora cada vez mais acusada de ter cometido

um pecado mortal: ter se deixado cair nas malhas do pensamento mágico-mítico-religioso, ou mesmo da ficção científica, ou ainda, e pior que isso, de nunca ter abandonado tais campos de raciocínio.

Os projetos de radioastronomia continuaram sob a tutela de um instituto de pesquisa financiado com recursos privados, o Instituto SETI, e assim prosseguem até hoje¹⁸. Para Helmreich (2009, p. 254):

In 1993, the more fringe associations of SETI caught up with it and NASA funding was cut from the enterprise. Astrobiology, advocates hope, will have a different profile connected to the latest microbiology, remote sensing, and computational analysis and drawing from established research in planetary science and origins-of-life research.

Kuhn (1998, p. 39) dizia que quando um novo paradigma é aceito pela maior parte da comunidade, ele traz consigo “uma definição nova e mais rígida do campo de estudos.” O distanciamento entre a Astrobiologia e os projetos SETI é categórico nesse sentido: o novo paradigma exclui a questão da inteligência extraterrestre e concentra-se num tipo de vida específico: microscópico, unicelular e extremófilo.

SETI listened for complex communiques from the stars; astrobiologists look to other planets for stripped-down signs of life. The object of scientific study and yearning is no longer intelligence, but life. No longer culture, but nature. Not extraterrestrial messages, but otherworldly organisms. (Helmreich, 2009, p. 254).

Os objetos de interesse dos e das astrobiólogas são microrganismos adaptados a paisagens muito frias, muito quentes, ácidas ou alcalinas, com alta incidência de radiação, salinidade e baixa disponibilidade de água. Esses microscópicos terráqueos, bem como as

¹⁸ Vale lembrar que de sua concepção na década de 1960, com os experimentos de Frank Drake, até o momento em que foi descontinuada dentro da NASA, a SETI encabeçou inúmeros projetos e continua a fazê-lo até hoje. Entre esses, vale mencionar o Projeto Ciclope, a Mensagem de Arecibo, SETI@Home e, mais recentemente, o Breakthrough Listen. Para um histórico detalhado, ver: *Archaeology, Anthropology, and Interstellar Communication*, editado por Douglas A. Vakoch (2014).

relações que eles formam com seu entorno, são tomados como modelos para possíveis seres e ecologias marcianas, venusianas etc. Eles são, nas palavras de uma de minhas interlocutoras, “os escolhidos”.

Falando sobre seu primeiro contato com o campo da Astrobiologia, outra de minhas interlocutoras, doutoranda em Bioquímica, comenta:

[...] é mais uma busca pela vida dominante da Terra, que são os microrganismos. Porque, né, é isso... se você procurar em quantidade e em biomassa, então em peso mesmo, a maior parte da vida é de microrganismos, então [...] se a gente tivesse que generalizar a vida como a gente conhece por uma forma de vida seria um microrganismo unicelular. (Entrevista com astrobióloga, doutoranda em Bioquímica, em 28 de março, 2023).

Seres classificados como extremófilos e/ou extremo-tolerantes¹⁹ podem estar vivendo ou ter vivido em certas paisagens de Marte, de Europa, de Encélado, de Vênus, ou na superfície de exoplanetas. De fato, essa possibilidade é a promessa de sucesso que os e as astrobiólogas buscam realizar por meio de experimentos que frequentemente articulam dados coletados *in situ* com dados “purificados” no laboratório — para resgatar um termo latouriano (Latour; Woolgar, 1997).

Para o microbiólogo estadunidense Baruch Blumberg (2003), que serviu como diretor do NAI entre 1999 e 2002, essa redefinição de escopo, de compromissos e objetivos se deveu a tecnologias que permitiram novas formas de investigação, mas também a certos eventos e controvérsias. O primeiro foi o imageamento, pela sonda Galileu, de Europa, uma das luas de Júpiter, e o indício de que havia um oceano encapsulado por uma espessa crosta de gelo naquele satélite²⁰. Já na década de 1990, com o aprimoramento dos telescópios, exoplanetas passaram a ser identificados em números cada vez maiores²¹; o que antes era uma probabilidade

¹⁹ Meus interlocutores me dizem que há uma diferença entre organismos que necessitam de condições extremas para sobreviver (altas e baixas temperaturas, meio ácido ou alcalino, baixa umidade etc.) e os que apenas as toleram.

²⁰ Europa, assim como Io, Calisto e Ganímedes, é chamada de “lua galileana” por ter sido detectada pela primeira vez no século XVII por Galileu.

²¹ Em 15/07/2024, constam mais de 5.500 exoplanetas confirmados e quase 10 mil candidatos a serem verificados em mais de 4 mil sistemas solares. Disponível em: <https://exoplanets.nasa.gov/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

numérica, tornou-se uma realidade. O Sistema Solar não era uma exceção; muitas estrelas são orbitadas por planetas, e alguns deles podem ser semelhantes à Terra.

Blumberg (2003) menciona, ainda, a controvérsia em torno do meteorito Allan Hills - ALH84001, encontrado na Antártida, em 1984. A rocha, provinda de Marte, teve sua idade estimada em aproximadamente quatro bilhões de anos, ou seja, remonta à infância dos planetas do Sistema Solar. Em 1996, um estudo publicado na *Science* alegou que certas estruturas em seu interior poderiam ser “nanofósseis” de antiquíssimas formas de vida marcianas (Blumberg, 2003; Barcelos, 2001; McKay *et al.*, 1996). A comunidade científica estadunidense, todavia, formou um consenso em torno de uma hipótese que propunha uma origem abiótica para tais formações, como altas temperaturas e forças geológicas. A controvérsia, entretanto, não foi completamente resolvida, uma vez que os propositores da hipótese original ainda sustentam sua tese (Thomas-Keprta *et al.*, 2009).

Barcelos (2001) reportou que, em 1989, outro meteorito de origem marciana, o EETA79001, havia gerado uma controvérsia similar à do ALH84001. Diferentemente de seu conterrâneo, todavia, este último foi datado em apenas 600 mil anos, sugerindo uma vida marciana bem mais recente. Para Barcelos (2001), o estudo desses materiais foi justamente o que levou à reformulação do programa de Exobiologia em Astrobiologia.

Cabe destacar que em 1962 — data da primeira edição de *A Estrutura das Revoluções Científicas* —, a Exobiologia dava seus primeiros passos. Naquele contexto, Kuhn ponderou que:

Embora a descoberta de vida na Lua possa ter atualmente um efeito destrutivo sobre os paradigmas existentes (aqueles que fazem afirmações sobre a Lua que parecem incompatíveis com a existência de vida naquele satélite), a descoberta de vida em alguma parte menos conhecida da galáxia não teria esse efeito. Do mesmo modo, uma nova teoria não precisa entrar necessariamente em conflito com qualquer de suas predecessoras. Pode tratar exclusivamente de fenômenos antes desconhecidos [...]. (1998, p. 129, grifo meu).

A detecção de seres vivos flutuando em mundos oceânicos a milhares de anos-luz de distância não entraria em conflito com qualquer entendimento preexistente simplesmente porque não havia paradigmas que falassem sobre a incidência de vida nos confins do espaço. As distâncias astronômicas entre os Sistemas Solares sempre foram proibitivas nesse sentido.

A atual Astrobiologia, contudo, é uma ciência autorizada pelo avanço tecnológico, que permite aos cientistas investigarem aspectos cada vez mais esotéricos de seu objeto de estudo e, paralelamente, lançar redes cada vez mais amplas e de longo alcance. Telescópios como o James Web e o Hubble são exemplos desse aprimoramento tecnológico, assim como as sondas e orbitais que singram o espaço sideral.

Para Morrison (2001, p. 4):

The promise of astrobiology is based on the emergence of cutting-edge research tools and facilities, such as the human genome project and its offshoots, bioinformatics, exploration of life in extreme environments on Earth, the International Space Station and a variety of space observatories, and new robotic missions to Mars and Europa.

Blumberg (2003, p. 467) complementa:

We are now able to look at and measure phenomena that not only were not observed before, but could not have been measured or observed because the means to do so were not available. The spaceships, rockets, and satellites that allow extensive searches into the universe were not available as little as a decade ago. These are akin to van Leeuwenhoek with his microscope and Galileo with his telescope, who saw things previously unseen whenever they pointed their instruments in new directions Astrobiology is a great producer of new ideas and data from which many novel hypotheses and models can be formulated.

Acompanho Arturo Escobar (2016, p. 22) em seu entendimento de que toda forma de “[...] tecnologia emerge de condições culturais particulares ao mesmo tempo em que contribui para a criação de novas condições culturais.” Os e as astrobiólogas, assim como os cientistas que estudam as ondas gravitacionais, bem como os astrônomos que buscam exoplanetas, dependem de próteses tecnológicas para se aproximar e articular seu objeto de estudo; esteja ele imerso em ecologias parcial ou inteiramente alienígenas num satélite ou planeta distante, esteja ele suspenso em um tubo de ensaio, balançando-se a 145 RPM num agitador dentro de um laboratório terrestre.

Por fim, Kuhn (1998, p. 46) também menciona o papel da tecnologia para a emergência de novos paradigmas e sustentação daqueles já estabelecidos: “Os síncrotrons e os

radiotelescópios são apenas os exemplos mais recentes de até onde os investigadores estão dispostos a ir, se um paradigma os assegurar da importância dos fatos que pesquisam.” Hoje, esses projetos tecnológicos encurtem as distâncias e aproximem os e as astrobiólogas de “partes menos conhecidas da galáxia”, bem como da pacificação em torno da presença de vida além-Terra nesses locais.

2.1 Ciência normal ou extraordinária?

Em *Ciência em Ação* (2011), Latour advertia: “nossa entrada no mundo da ciência e da tecnologia será pela porta de trás, a da ciência em construção, e não pela entrada mais grandiosa da ciência acabada” (Latour, 2011, p. 6). O objetivo? Aproximar-se das controvérsias que pontuam a trajetória de um enunciado até sua pacificação, até sua transformação em fato científico. Ele não fala em “paradigma”, exceto para dizer que sua etnografia de laboratório se desenhou dentro de uma instituição científica fortemente enraizada “em seu paradigma [...]”, ou que o laboratório de neuroendocrinologia sediado no Instituto Salk permanecia há trinta anos sob o mesmo paradigma, sendo essa “relativa estabilidade” uma das justificativas para sua escolha (Latour; Woolgar, 1997, p. 32).

Latour estava interessado em mapear o processo de aumento ou diminuição da facticidade de um enunciado proposto por um cientista, artigo ou laboratório. Estava interessado no alistamento de pessoas, na amarração de recursos, nas modalizações associadas aos argumentos até que eles virem fatos e, eventualmente, conhecimento tácito, ou então que derrapem pelo caminho oposto, permanecendo artefatos (Latour, 2011; Latour; Woolgar, 1997).

Em se transformando num fato, será incluída em tantos outros artigos que logo será desnecessário escrevê-la ou sequer citar um artigo tão conhecido. Depois de uma dezena de textos que utilizem a afirmação como fato indiscutível, ela será transformada em algo como: Injetamos GRF sintético em sessenta machos de camundongos suíços albinos etc. (Latour, 2011, p. 62).

Ou ainda:

Um fato é reconhecido enquanto tal quando perde todos os seus atributos temporais e integra-se em um vasto conjunto de conhecimentos edificadas por outros fatos. Quando se pretende escrever a história de um fato, esbarra-se em uma dificuldade essencial: ele perdeu, por definição, qualquer referencial histórico. Existe uma grande diferença entre um enunciado litigioso e sua posterior (ou anterior) aceitação como fato instituído (Latour; Woolgar, 1997, p. 101-102).

Em seus estudos da ciência atual, Latour dedicou-se à emergência dos fatos enquanto realidade textual, na forma de citações, referências, e, sobretudo, enunciados pacificados. Na literatura astrobiológica, alguns enunciados a respeito da detecção de vida extraterrestre já foram propostos. Exemplos são a detecção de fosfina nas nuvens de Vênus e a especulação a respeito de suas origens, a detecção de metano em Marte e a especulação a respeito de suas origens, e a caracterização das estruturas no interior do meteorito Allan Hills como contendo uma origem biótica. Nenhum deles, todavia, foi imediata ou plenamente aceito pela comunidade. Em geral, permanecem “litigiosos” e altamente modalizados. Utilizando o léxico de Latour e Woolgar (1997), eles perderam facticidade e tornaram-se mais fracos (artefatos) em vez de mais forte (fatos).

Sigo Thomas Kuhn, todavia, no entendimento de que fatos, ou “classes de novos fenômenos”, só emergem a partir do pano de fundo dos paradigmas, ou seja, daquelas “realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.” (Kuhn, 1998, p. 13). Fatos como esses (fosfina em Vênus, por exemplo, ou metano em Marte) só ganham significância dentro dos referenciais, da estrutura teórico-metodológica, dos compromissos de um campo científico já estabelecido e de uma comunidade bem delineada.

Os paradigmas identificados por Kuhn compartilham duas características: são “suficientemente sem precedentes para atrair um grupo duradouro de partidários, afastando-os de outras formas de atividade científica dissimilares” e, simultaneamente, “suficientemente abertos para deixar toda a espécie de problemas para serem resolvidos pelo grupo redefinido de praticantes da ciência.” (Kuhn, 1998, p. 30). Esses problemas são os *puzzles*, ou quebra-cabeças, e sua resolução, por meio de certas regras e “compromissos relativos a tipos de instrumentos preferidos e a maneiras adequadas de utilizá-los” (Kuhn, 1998, p. 64), constitui a ciência normal.

Esse entendimento é essencial para se perceber e enquadrar a prática de um laboratório como o AstroLab. Os e as astrobiólogas que lá atuam são cientistas ativamente

engajados na atividade de montar quebra-cabeças relacionados a microscópicos terráqueos — como leveduras, bactérias, cianobactérias e microalgas — e sua relação com diferentes configurações e estressores ambientais. No laboratório, esses quebra-cabeças tipicamente tomam a forma de questionamentos; há os de ordem macro, que delimitam o campo (i.e., eixos temáticos), e há os mais direcionados, ou “esotéricos”²², que caracterizam a pesquisa de cada cientista.

Agir a partir de um paradigma arraigado, aceito por uma comunidade científica que “sabe como é o mundo” (Kuhn, 1998, p. 24) e, sobretudo, sabe quais perguntas fazer a respeito dele, não significa, entretanto, que a ciência esteja completa, inteiramente resolvida e sancionada. Pelo contrário, como informa Kuhn, o paradigma funciona antes como uma promessa de sucesso “que pode ser descoberta em exemplos selecionados e ainda incompletos” (1998, p. 44).

A ciência normal consiste na atualização dessa promessa, atualização que se obtém ampliando-se o conhecimento daqueles fatos que o paradigma apresenta como particularmente relevantes, aumentando-se a correlação entre esses fatos e as predições do paradigma e articulando-se ainda mais o próprio paradigma. (KUHN, 1998, p. 44).

No que tange à Astrobiologia, esses exemplos selecionados e ainda incompletos são os quebra-cabeças que os e as astrobiólogas tentam resolver e que envolvem a identificação ou caracterização de processos e produtos extraterrestres com base em modelos terrestres e analogias locais. Como não há uma vida alienígena confirmada, os e as cientistas empregam modelos conhecidos para solucionar esse enigma, ensaiando e aproximando o desconhecido. Como veremos adiante, esse exercício engloba testar, por exemplo, vias de oxidação do manganês para explicar o que ocasionou tal processo em rochas sedimentares marcianas, ou, ainda, formas de precipitar dolomita e outros minerais carbonatos na Terra a fim de elucidar a origem desses mesmos minerais em Marte. Também compreende expor bactérias e leveduras a

²² Para Kuhn, quanto mais esotérico é um problema ou ciência, mais restrito à compreensão de um seletivo grupo ele é, menos apreensível por um público geral, leigo. A distinção entre “saber esotérico” e “exotérico”, pelo que pude resgatar, vem do médico e sobrevivente da Segunda Guerra Mundial Ludwig Fleck (Andrade, 2017). Essa distinção é invocada tanto por Kuhn, em sua análise dos paradigmas, quanto por Latour, em sua análise dos fatos científicos.

múltiplas formas de radiação a fim de identificar mecanismos de resistência e reparo, prevendo sua aplicação futura no ramo da exploração espacial.

Para Kuhn (1998), além de uma promessa de sucesso, o paradigma que embasa a pesquisa normal pode também funcionar como um *template*, ou modelo²³, a partir do qual novos problemas são solucionados. Esse *template*, contudo, nunca está completo. Os e as astrobiólogas, por exemplo, utilizam-se exclusivamente do modelo terrestre para pensar, testar, ensaiar configurações de outros astros. Se, em algum momento, seres vivos forem identificados em Marte ou em Vênus, em Europa, ou mesmo em algum exoplaneta, eles também fornecerão dados a respeito da vida e alimentarão modelos melhores, mais refinados e completos.

Margaret Masterman (1979) argumenta diligentemente em favor da ciência normal, mas questiona o fato de Kuhn utilizar “paradigma” de vinte e uma formas diferentes: como uma realização científica universalmente reconhecida; como conjunto de crenças e constelação de perguntas; como manual; como tradição e modelo; como analogia, como especulação metafísica bem-sucedida, como um novo modo de ver etc. Masterman (1979) segmenta essas definições em três tipos principais: paradigmas metafísicos, ou metaparadigmas; paradigmas sociológicos; e paradigmas de construção.

Masterman (1979) argumenta que Kuhn jamais equiparou paradigma à teoria científica. Pelo contrário, o conjunto de compromissos que um paradigma pressupõe precede a teoria.

For his metaparadigm is something far wider than, and ideologically prior to, theory: i.e. a whole Weltanschauung. His sociological paradigm, as we have seen, is also prior to theory, and other than theory, since it is something concrete and observable: i.e. a set of habits. And his construct-paradigm is less than a theory, since it can be something as little theoretic as a single piece of apparatus: i.e. anything which can cause actual puzzle-solving to occur. (Masterman, 1979, p. 81 – grifo da autora).

²³ Para Kuhn (1998 p. 44), todavia, diferentemente do emprego que um paradigma gramatical possa ter, como, por exemplo, na conjugação de verbos regulares a partir de um modelo ou matriz (amo, amas, ama, amamos / danço, danças, dança, dançamos etc.), os paradigmas científicos funcionam, antes, como “uma decisão judicial aceita no direito costumeiro, [...] é objeto a ser melhor articulado e precisado em condições novas e mais rigorosas.”

Tal qual Latour, Masterman (1979, p. 68) também nos impele a analisar a ciência nova, a ciência atual, alegando que “An investigation into the originality of Kuhn, then, is also an investigation into the crude forms and early stages of a science.” Além disso, propõe que na fase inicial de desenvolvimento de uma ciência, embora ainda não haja uma teoria propriamente dita, já há um paradigma, ou seja, um conjunto de hábitos e compromissos compartilhados.

The primary sense of 'paradigm', clearly, has got to be a philosophic one; and the paradigm has got to exist prior to the theory. This once established, the man who says, 'What, in actual fact, is this "paradigm", this entity?', can then indeed be answered by being told to go and look at what is happening in a new scientific field. For in a new science, not only is the formal theory almost sure to be missing; but also a very great deal of high-powered scientific activity is aimed at the right choice of the moment when it will be worth the labour to construct it. (Masterman, 1979, p. 69).

Na Astrobiologia, assim como indica a análise de Masterman, o paradigma parece emergir antes de um fato sancionado, de detecção de vida alienígena, e até mesmo antes de uma teoria plenamente aceita sobre a vida. Esse paradigma embasa as atividades do AstroLab e de muitos outros laboratórios espalhados pelo globo, e é, eu proponho, esse conjunto de práticas, compromissos, hábitos, discursos e abordagens para o qual chamam a atenção tanto Masterman (1979) quanto Kuhn (1998).

A Astrobiologia, portanto, estrutura-se em torno dessa promessa de sucesso da vida ao extremo, da vida nas franjas, da vida em suas potencialidades periféricas em relação a um centro, contrapondo-se a uma imagem da vida exclusivamente terrestre, mesófila e aerófila²⁴. Os extremófilos são ubíquos na história de nosso planeta e apontam para a vida como um fenômeno potencialmente cósmico, não restrito à Terra, nem tampouco àquilo que julgamos ser o padrão, o centro, ou a média. Embora não sintetizado em uma teoria ou pacificado na forma de um fato, esse acordo entre os membros da comunidade astrobiológica, essa imagem aliada ao discernimento de sua aplicabilidade, nas palavras de Masterman (1979), autoriza e orienta

²⁴ Toda a fauna macroscópica terrestre é considerada mesófila, pois, em relação aos extremófilos, depende de condições medianas de temperatura, pressão etc. para existir. Já o termo “aerófila” se refere ao fato de necessitarmos de oxigênio para respirar.

as perguntas, os experimentos e os instrumentos que poderão levar ao fato e a uma futura amarração teórica.

Para Thomas Kuhn (1998, p. 23),

A pesquisa eficaz raramente começa antes que uma comunidade científica pense ter adquirido respostas seguras para perguntas como: quais são as entidades fundamentais que compõem o universo? como interagem essas entidades umas com as outras e com os sentidos? que questões podem ser legitimamente feitas a respeito de tais entidades e que técnicas podem ser empregadas na busca de soluções?

A comunidade astrobioológica, a nível nacional e internacional, compartilha uma orientação tanto em relação às perguntas que podem ser feitas quanto em relação às técnicas que podem ser empregadas na apreensão de seu objeto de estudo, bem como na obtenção de respostas a partir dele. Essas orientações estão dispostas num documento que é atualizado de tempos em tempos.

2.1 Roadmaps: matriz curricular?

Entre 1996 e 1998, uma série de oficinas temáticas foi realizada pela NASA a fim de definir os objetivos do novo programa de Astrobiologia. Esses eventos culminaram num documento conhecido como *NASA Astrobiology Roadmap*, que teve sua primeira versão publicada em dezembro de 1998, e posteriormente três atualizações, em 2003, 2008 e 2015 (Des Marais *et al.*, 2008; Blumberg, 2001). O documento original, por exemplo, indica que é um produto de mais de

150 scientists and technologists, spanning a broad range of disciplines. More than 100 of these participated in a three-day Roadmap Workshop held in July 1998 at NASA Ames Research Center, while others attended previous topical workshops and are participating by email. (NASA, 1998).

O *Roadmap* de 1998 situa a Astrobiologia como o estudo da vida no Universo, apontando que ela fornece uma perspectiva biológica para várias áreas de pesquisa ligadas ao

espaço, “[...] linking such endeavors as the search for habitable planets, exploration missions to Mars and Europa, efforts to understand the origin of life, and planning for the future of life beyond Earth.” (NASA, 1998). Foi esse primeiro documento que definiu as três macroquestões referenciadas no início deste artigo, e que delimitaram o escopo das pesquisas na área.

O mapa original ainda listava 10 objetivos científicos amplos e 17 específicos, associados às três macroquestões, que iam de “determinar se a atmosfera da Terra primitiva era fonte significativa de matéria orgânica” a “refinar protocolos de proteção planetária”²⁵. A versão de 2003 elenca as mesmas três questões fundamentais ao campo, mas simplifica as metas gerais e específicas da versão anterior em sete objetivos²⁶.

Já a versão de 2008, publicada na forma de um artigo, continuou listando sete objetivos científicos (Des Marais *et al.*, 2008). Assim como nas versões anteriores, os objetivos são, na verdade, uma lista de ações que devem ser tomadas para aprimorar o entendimento da distribuição de ambientes habitáveis dentro e fora do Sistema Solar, de química prebiótica²⁷, da coevolução entre a vida na Terra e o ambiente planetário ao longo do tempo geológico, da integração das geociências e biociências, dos princípios que moldarão o futuro da vida, tanto na Terra quanto além dela, e, por fim, de bioassinaturas detectadas *in situ* ou remotamente, além de bioassinaturas de tecnologias remotas²⁸. Como propôs Helmreich (2009, p. 255), se os cientistas uma vez especulavam a respeito de canais marcianos e sinais de rádio, os e as “[...] astrobiologists now look for outlines of evaporated rivers and indices of subsurface seas.”

As três versões do mapa listam, ainda, quatro princípios que regem o programa de Astrobiologia: 1) reconhecendo que se trata de um campo cujo conteúdo é multidisciplinar e a execução interdisciplinar, que só pode avançar com colaborações; 2) encorajando a proteção planetária em vista de possíveis contaminações cruzadas no contexto da exploração espacial e ponderando questões éticas relativas a esse contexto; 3) projetando o interesse social e político, além do científico, na descoberta de vida extraterrestre; e 4) aproveitando a oportunidade para

²⁵ Para a lista completa de objetivos, consultar: <https://astrobiology.nasa.gov/nai/media/roadmap/1998/introduction.html> . Acesso em: 15 jul. 2024.

²⁶ Para a lista completa de objetivos, consultar: <https://astrobiology.nasa.gov/nai/media/roadmap/2003/index.html> . Acesso em: 15 jul. 2024.

²⁷ São chamados de “química prebiótica” os estudos que lidam com as condições químicas da Terra imediatamente antes do surgimento da vida.

²⁸ Para a lista completa de objetivos, consultar: https://astrobiology.nasa.gov/uploads/filer_public/07/5e/075e2de9-36a5-4ede-b3bd-f6806dc28919/ab_roadmap_2008.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.

educar e inspirar a comunidade de cidadãos em geral e, especialmente, a nova geração de cientistas (Des Marais *et al.*, 2008, p. 716)²⁹.

Em 2015, o *Roadmap* foi atualizado pelo *NASA Astrobiology Strategy*, documento consideravelmente mais robusto — conta com 236 páginas —, e mais focado nos conceitos de habitabilidade e coevolução entre vida e ambiente.

Since the astrobiology community published its last Astrobiology Roadmap in 2008, research in the field has focused more and more on the link between the “astro” and the “bio” in astrobiology—that is, what makes a planetary body habitable. “Habitability” has become a major buzzword in astrobiology as researchers have learned more about extraterrestrial environments in our Solar System and beyond and deepened their understanding of how and when the early Earth became habitable. (NASA ASTROBIOLOGY STRATEGY, 2015, p. viii).

Os quatro princípios elencados nos *Roadmaps* anteriores aparecem, na introdução do documento, como “objetivos”, que, se atingidos, “[...] will help us meet the challenges we face over the coming decade.” (NASA ASTROBIOLOGY STRATEGY, 2015, p. XIV). A eles, um quinto princípio foi adicionado, prevendo que as pesquisas astrobiológicas podem ajudar as missões da NASA a mapearem a distribuição de ambientes habitáveis, além da vida no Universo.

O plano estratégico reconhece que os mapas anteriores trouxeram clareza para o campo ao delimitar seu escopo, guiando os e as pesquisadoras na direção de algumas questões cruciais, e formando uma nova geração de cientistas³⁰.

Over the past Roadmap cycle NASA’s Astrobiology Program teams have generated more than 5,000 original peer-reviewed publications and trained hundreds of

²⁹ A versão de 1998 apresenta algumas diferenças em relação às suas sucessoras. Ela menciona, por exemplo, no terceiro princípio, o potencial “to engineer new life forms adapted to live on other worlds”, frase que foi substituída por “envisioning the future of life on Earth and in space” nas versões posteriores. Há, ainda, algumas modificações pontuais no quarto princípio. Disponível em: <https://astrobiology.nasa.gov/nai/media/roadmap/1998/principles.html>. Acesso em: 15 jul. 2024.

³⁰ Todos os *Roadmaps* podem ser acessados no endereço: <https://astrobiology.nasa.gov/about/astrobiology-strategy/>. Acesso em: 15 jul. 2024

graduate and post-graduate students in core STEM disciplines: Physics, Chemistry, Biology, Mathematics, and Computer Science. (NASA ASTROBIOLOGY STRATEGY, 2015, p. XVII).

Em comparação com os mapas, o *NASA Astrobiology Strategy* se subdivide em seis tópicos:

- ❖ Identificação de fontes abióticas de compostos orgânicos;
- ❖ Síntese e função das macromoléculas na origem da vida;
- ❖ Vida primitiva e complexidade crescente;
- ❖ Coevolução entre a vida e seu ambiente físico;
- ❖ Identificação, exploração e caracterização de ambientes para habitabilidade e bioassinaturas;
- ❖ Construção de mundos habitáveis. (NASA ASTROBIOLOGY STRATEGY, 2015)

Cada um desses tópicos conta com uma introdução própria, uma explanação a respeito de sua relevância, um desenvolvimento que contempla o que aquele tipo de pesquisa implica, um resumo do progresso feito nos últimos dez anos, áreas de pesquisa dentro do tópico, bem como os desafios projetados para os próximos dez anos. No Posfácio de *Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn (1998) ecoa Masterman (1979) e enfatiza que o que muda com a transição de uma ciência num estágio pré-paradigmático para uma ciência madura “não é a presença de um paradigma, mas antes sua natureza. Somente depois da transição é possível a pesquisa normal orientada para a resolução de quebra-cabeças.” (1998, p. 223). Somente então há pesquisa esotérica e progresso cumulativo.

O que o *Astrobiology Strategy* faz — e o que os *Roadmaps* já faziam antes dele — é fornecer os modelos extraídos de múltiplas disciplinas para a resolução de quebra-cabeças, bem como indicar quais quebra-cabeças devem ser priorizados, quais questões são pertinentes.

Entre outras coisas, fornecem ao grupo as analogias ou metáforas preferidas ou permissíveis. Desse modo auxiliam a determinar o que será aceito como uma explicação ou como uma solução de quebra-cabeça e, inversamente, ajudam a estabelecer a lista dos

quebra-cabeças não solucionados e a avaliar a importância de cada um deles. (Kuhn, 1998, p. 229).

Kuhn entende que um dos sentidos em que utilizou “paradigma” na obra original poderia ser substituído por “matriz disciplinar”: disciplinar porque se refere a uma posse comum aos praticantes de uma disciplina particular; “matriz” porque é composta de elementos ordenados de várias espécies, cada um deles exigindo uma determinação mais pormenorizada.” (1998, p. 226). O desafio, aqui, é saber se essa definição de “matriz disciplinar” se aplica aos *Roadmaps*, uma vez que a Astrobiologia cujo escopo eles esboçam não é encarada como uma disciplina “particular”, mas como um mosaico de conhecimentos multidisciplinares e práticas interdisciplinares, heterogêneas. Como, todavia, parece haver uma centralização e consenso em torno de certos temas, ou eixos temáticos, e das pesquisas que podem ser desenvolvidas dentro deles, argumento que esses documentos organizam o campo, fornecendo-lhe uma matriz disciplinar, deixando explícitos os objetivos da comunidade, bem como seus modelos e resolução de problemas preferidos e/ou possíveis.

Há, ainda, ao final do documento, uma seção dedicada ao papel das ciências sociais dentro da Astrobiologia, intitulada “Beyond Natural Sciences: Humanities and Social Science Contributions to Astrobiology” (NASA ASTROBIOLOGY STRATEGY, 2015, p. 155). Diferentemente dos eixos temáticos, as ciências sociais são elencadas como tópicos a partir das questões que podem levantar. Alguns exemplos são:

- **Epistemologia** – “Is a definition of life necessary to the pursuit of astrobiology?” (NASA, 2015, p. 156).
- **Ciências Sociais** – “Who is doing astrobiology and what professional and personal motivations encourage their work?” (NASA, 2015, p. 156).
- **Ética** – “Do humans have non-Terran ethical obligations?” (NASA, 2015, p. 157).
- **História** – “Who has speculated on non-Terran life historically? What methods have they used and what theories have they proposed?” (NASA, 2015, p. 158).

O reconhecimento dessas contribuições parte do entendimento de que as pesquisas astrobiológicas e os resultados por ela obtidos estão imbricados em teias de vivência e

socialidade que se estendem muito além dos laboratórios e agências espaciais. Muitas realidades são perpassadas por esses projetos. Não há, entretanto, nenhum compilado dos estudos já realizados por cientistas sociais, como os de Stefan Helmreich (2006; 2009; 2011; 2012), de Lisa Messeri (2011) ou de Valerie Olson (2018), de suas contribuições, ou tampouco qualquer referência a pesquisas que estão sendo conduzidas na área.

Não há, ainda, um reconhecimento da infinitude de não humanos que são mobilizados como recursos, como modelos, como canais de acesso para atingir os objetivos propostos, ou uma reflexão crítica sobre as potenciais consequências da exploração espacial, sobretudo no âmbito ambiental. Há, contudo, nos tópicos elencados sob a Ética, o seguinte questionamento: “Does Astrobiology have implications for Terran environmental ethics?”. Tendo em vista os vários desmundos e desumanidades promovidas pelos catalisadores dos Antropoceno, ou por suas raízes históricas e mais aprofundadas, como o Plantationceno e o Capitaloceno, com que responsabilidade nos aproximamos de outros astros e os envolvemos em nossos projetos?

Segundo Rodrigues *et al.* (2012), enquanto os *Roadmaps* promovem cooperação e coordenação entre diferentes grupos de pesquisas de diferentes nações, as prioridades da Astrobiologia no Brasil são distintas e refletem as políticas e a formação da ciência nacional.

For instance, Brazil has not so far dedicated much effort in space missions or planetary exploration, but has knowledge and technology to contribute in these areas using laboratory and theoretical simulations to understand how life can survive elsewhere and how it can be found. (Rodrigues et al., 2012, p. 196).

Os autores apontam as instalações do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - LNLS como um exemplo de acesso a diferentes formas de radiação para a pesquisa astrobiológica. Além disso, é mencionado o potencial geológico para estudos de Paleontologia em território nacional, uma vez que há materiais remanescentes da era pré-cambriana ainda não investigados. Por fim, é mencionada a biodiversidade tão característica do país, bem como suas diferentes paisagens e como elas podem conter características relevantes para estudos astrobiológicos.

2.3 A Astrobiologia do Astrolab

No Brasil, podemos mapear a Astrobiologia por gerações. A primeira, da qual fazem parte Fabio Rodrigues e Douglas Galante, os fundadores do AstroLab, foi orientada por acadêmicos que não eram, eles mesmos, astrobiólogos; vinham de áreas como Química e Astronomia, mas nutriam um interesse pessoal pela Astrobiologia. Agora, essa primeira geração de astrobiólogos atuantes orienta a segunda; graduandos e graduandas, mestrandos e mestrandas, doutorandos e doutorandas, bem como pós-doutorandas.

A prática diária desses e dessas cientistas consiste em isolar microrganismos de interesse e submetê-los a condições ambientais presentes em paisagens extraterrestres. A ideia é que sua performance sob esses estressores possa indicar caminhos para a identificação de formas de vida análogas, porventura capazes de habitar a superfície e/ou subsuperfície marciana, ou as nuvens de Vênus, ou as gélidas correntes do espaço sideral e os oceanos enclausurados de Europa e Encélado. O que presenciei durante o tempo em que com eles e elas convivi, portanto, foram pesquisas altamente orientadas para a resolução de quebra-cabeças capazes de articular a amplitude e a imprecisão do paradigma (i.e. “distribuição da vida no Universo”) com manifestações concretas que efetivem sua promessa de sucesso.

Exemplos de tais quebra-cabeças são:

- a) Carbonatos marcianos tem origem biótica ou abiótica? Microrganismos terrestres são capazes de precipitar carbonatos como a dolomita em laboratório?
- b) Qual foi o agente oxidante do manganês em Marte?
- c) A alga *Chlamydomonas nivalis* consegue fixar carbono quando ela está submetida a estresses marcianos, como dessecação, radiação e pressão baixa?
- d) A bactéria *Acidithiobacillus Ferrooxidans* pode biolixiviar meteoritos? O que ela pode dizer sobre os primeiros metabolismos a habitarem a Terra?
- e) Bactérias do gênero *Nocardioides e Sphingomonas* que vivem sob radiação natural do urânio sobreviveriam a outros tipos de radiação, como radiação gama?
- f) Bactérias halófilas resistentes ao sulfato de magnésio e ao perclorato de magnésio seriam capazes de crescer nas salmouras marcianas?

Em comparação aos eixos temáticos que delimitam a Astrobiologia, os questionamentos elencados acima são claramente de ordem mais esotérica. Eles determinam

quais experimentos serão conduzidos, quais métodos, empregados, e até em que tipo de periódico os resultados, quando obtidos, poderão ser publicados.

Falando sobre o paradigma de Franklin e seu impacto para os eletricitistas do século XVIII, Kuhn (1998, p. 38) argumenta:

Livre da preocupação com todo e qualquer fenômeno elétrico, o grupo unificado dos eletricitistas pôde ocupar-se bem mais detalhadamente de fenômenos selecionados, projetando equipamentos especiais para a tarefa e empregando-os mais sistemática e obstinadamente do que jamais fora feito antes. Tanto a acumulação de fatos como a articulação da teoria tornaram-se atividades altamente orientadas.

E complementa:

Daí para a frente orientaram-se para problemas mais recônditos e concretos e passaram cada vez mais a relatar os resultados de seus trabalhos em artigos endereçados a outros eletricitistas, ao invés de em livros endereçados ao mundo instruído em geral. (p. 42)

Em outras palavras, após a instauração do paradigma, as pesquisas são direcionadas para certos quebra-cabeças, os experimentos geram dados reproduzíveis, e a publicação desses resultados ocorre por meio de breves artigos endereçados ao público restrito de pessoas que os entenderão. Essa ciência normal gera acúmulo e sensação de que progresso está sendo feito. Falando a respeito da estabilização do campo ao longo de suas duas gerações, Rodrigues *et al.* (2012, p. 198) relatam que

[...] the development of astrobiology in Brazil has not being linear, or planned from beginning. Many of the scientists cited here would not refer to themselves as astrobiologists at their time, but now, in the current scientific paradigm, we can see that many were contributing by making the connections that the modern astrobiology looks for.

As pesquisas atualmente conduzidas no AstroLab representam um progresso em relação aos resultados obtidos pelos pioneiros do campo no Brasil. Muitas delas agregam

instrumentos, como câmaras de simulação espacial, idealizados e construídos pela primeira geração, assim como linhas de pesquisas por ela inauguradas. Algumas pesquisas também propõem certas paisagens e ecossistemas brasileiros — como a Lagoa Vermelha, no Rio de Janeiro, e Diamantina, em Minas Gerais — como análogos a paisagens marcianas.

Considerações finais

Praticada enquanto um campo científico multidisciplinar que congrega acadêmicos de formações variadas, a Astrobiologia prevê um intenso trabalho de laboratório que conecta locais tomados como análogos a paisagens extraterrestres — como a subsuperfície marciana, a atmosfera venusiana ou o oceano enclausurado de Europa e Encélado —, a microrganismos unicelulares conhecidas como “extremófilos”. Isso porque, em outras paragens de nosso Sistema Solar e além, predominam condições ambientais radicalmente distintas da média planetária terrestres.

Essa dinâmica ocorre porque a Astrobiologia nasce do entendimento e do compromisso com o paradigma de que aprender e apreender a vida terrestre, em todas as suas manifestações e ecologias, presentes ou pretéritas, é preponderante para a detecção de vida alhures. A prática astrobiológica de laboratório, portanto, prevê o emprego de modelos e analogias como canais de acesso, ou veredas, com as quais pensar, acessar e, de fato, ensaiar seres nativos de outras configurações e paisagens.

Outrora conhecida como Exobiologia, esforço que incluía os projetos hoje identificados exclusivamente como SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*), a Astrobiologia é o fruto de uma reformulação no escopo de pesquisa e de uma comunidade que coalesceu em torno de um paradigma: a vida enquanto fenômeno cósmico, cuja distribuição e origem é possível desvelar a partir do estudo da geologia, da biologia e da epistemologia terrestre. Mesmo sem contar com uma teoria plenamente referendada a respeito da vida, ou de um fato sancionado, o paradigma que sustenta a prática astrobiológica atual se manifesta na forma de práticas e compromisso, além de uma matriz disciplina que é atualizada de tempos em tempos. Por fim, poderá servir como pano de fundo para a detecção de vida alhures e de sua aceitação pela comunidade como um fato científico.

Referências

- ANDRADE, F. C. Compreendendo a gênese e desenvolvimento de um fato científico segundo Fleck. *Saberes*, v. 1, n. 17, p. 185-197, dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/saberes/article/view/12152> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- ARANHA FILHO, J. M. *Inteligência extraterrestre e evolução: As especulações sobre a possibilidade de vida em outros planetas no meio científico moderno*. Dissertação (Mestrado em Antropologia Social) – Programa de Pós-graduação em Antropologia Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 227, 1990.
- BARCELOS, E. D. *Telegramas para Marte: a busca científica de vida e inteligência extraterrestres*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.
- BARCELOS, E. D. Na Terra de Oz: os debates sobre a pesquisa de vida e inteligência extraterrestres (1959-1993). *Revista da SBHC*, n. 10, p. 29-42, 1993. Disponível em: https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=260. Acesso em: 15 jul. 2024.
- BARCELOS, E. D. *História da pesquisa de vida e inteligência extraterrestre (1959-1990)*. Dissertação (Mestrado em História Social) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- BILLINGHAM, J. SETI: The NASA Years. In: VAKOSH, D. (ed.). *Archaeology, Anthropology, and interstellar communication*. The NASA History Series. Washington: NASA, 2014.
- BILLINGS, L. Astrobiology in culture: the search for extraterrestrial life as “science”. *Astrobiology*, v. 12, n. 10, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232319169_Astrobiology_in_Culture_The_Search_for_Extraterrestrial_Life_as_Science. Acesso em: 15 jul. 2024.
- BLUMBERG, B. S. The NASA Astrobiology Institute: early history and organization. *Astrobiology*, v. 3, n. 3, p. 463-470, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14678657/> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- COCCONI, G.; MORRISON, P. Searching for Interstellar Communications. *Nature*, v. 184, set. 1959, p. 844-846.

- DES MARAIS, D. J. et al. The NASA Astrobiology Roadmap. *Astrobiology*, v. 8, n. 4, p. 715-730, 2008. Disponível em: https://astrobiology.nasa.gov/uploads/filer_public/07/5e/075e2de9-36a5-4ede-b3bd-f6806dc28919/ab_roadmap_2008.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.
- ESCOBAR, A. Bem-vindos à Cyberia: notas para uma antropologia da cibercultura. In: SEGATA, J.; RIFIOTIS, T. (eds.). *Políticas etnográficas no campo da cibercultura*. Brasília: ABA, 2016. p. 21-66.
- GALANTE, D. et al. *Astrobiologia: uma ciência emergente*. São Paulo: Tikinet; IAG/USP, 2016.
- GARBER, S. J. A Political History of NASA's SETI Program. In: VAKOSH, D. (ed.). *Archaeology, Anthropology, and interstellar communication*. The NASA History Series. Washington: NASA, 2014.
- HELMREICH, S. Extraterrestrial relativism. *Anthropological Quarterly*, v. 85, n. 4, p. 1125-1140, 2012. Disponível em: https://anthropology.mit.edu/sites/default/files/documents/helmreich_extraterrestrial_relativism.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.
- HELMREICH, S. What was life? Answers from three limit Biologies. *Critical Inquiry*, v. 37, n. 4, p. 671-696, 2011. Disponível em: https://anthropology.mit.edu/sites/default/files/documents/helmreich_what_was_life.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.
- HELMREICH, S. *Alien ocean: anthropological voyages in microbial seas*. Berkeley: University of California Press, 2009.
- HELMREICH, S. The signature of life: designing the astrobiological imagination. *Grey Room*, v. 23, p. 66-95, 2006. Disponível em: https://anthropology.mit.edu/sites/default/files/documents/helmreich_signature_of_life.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.
- INTERNATIONAL JOURNAL OF ASTROBIOLOGY. *Special issue: the Sao Paulo Advanced School of Astrobiology – SPASA 2011*, v. 11. n. 4, out. 2012. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-astrobiology/issue/96D2E8CB9814C37F5A52BD7286B23D28> . Acesso em: 15 jul. 2024.

- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.
- LATOUR, B. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. São Paulo: Unesp, 2011.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *Vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- MARCHESELLI, V. *Life as-we-don't-know-it: Research repertoires and the emergence of astrobiology*. Tese (Doutorado em Science, Technology and Innovation Studies) – The University of Edinburgh, Edinburgh, 204p., 2018.
- MAYR, E. *Biologia: uma ciência única*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- MCKAY, D. S. et al. Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. *Science*, v. 273, n. 5277, p. 924-930, 1996. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.273.5277.924>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- MESSERI, L. *Placing outer space: an earthly ethnography of other worlds*. Tese (Doutorado em Science, Technology, and Society) – Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 269p., 2011.
- MOL, A. *The body multiple: ontology in medical practice*. Durham: Duke University Press, 1992.
- MOROWITZ, H.; SAGAN, C. Life in the Clouds of Venus? *Nature*, v. 215, 1967, p. 1259-1260. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/2151259a0> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- MORRISON, D. The NASA Astrobiology Program. *Astrobiology*, v. 1, n. 1, p. 3-13, 2001. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12448992/> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Astrobiology Strategy*. Disponível em: <https://astrobiology.nasa.gov/about/astrobiology-strategy/>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- PACHECO, D. De dentro da USP, grupo estuda a vida fora da Terra. *Jornal da USP*, nov. 2018. Disponível em: <https://jornal.usp.br/universidade/de-dentro-da-usp-grupo-estuda-a-vida-fora-da-terra-2/> . Acesso em: 15 jul. 2024.

- PÍCARO, D. C. *Extraterrestres: ciência e pensamento mítico no mundo moderno*. Dissertação (Mestrado em Antropologia) – Universidade Federal de São Carlos, p. 155, 2012.
- RACE, M. S. Evaluating Preparedness for the Discovery of Extraterrestrial Life: Considering Potential Risks, Impacts and Plans. In: DICK, S. (ed.). *The Impact of Discovering ET Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- REINECKE, D.; BIMM, J. The maintenance of ambiguity in Martian exobiology. *Social Studies of Science*, v. 52, n. 2, 2022, p. 199-226. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/03063127221077207> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- RODRIGUES, F. et al. Astrobiology in Brazil: early history and perspectives. *International Journal of Astrobiology*, v. 11, n. 4, p. 189-202, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1473550412000250> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- SAGAN, C.; SHKLOVSKII, I. S. *Intelligent Life In the Universe*. San Francisco: Holden-Day Inc., 1966. Disponível em: <https://archive.org/details/SaganIL/mode/2up> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- THOMAS-KEPRTA, K. L. et al. Origins of magnetite nanocrystals in Martian meteorite ALH84001. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 73, n. 21, p. 6631-6677, nov. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016703709003809> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- TIPLER, F. J. A brief history of the extraterrestrial intelligence concept. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 22, n. 2, p. 133-143, 1981. Disponível: <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1981QJRAS..22..133T/0000137.000.html>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- VAKOCH, D. A. (ed.). *Archaeology, Anthropology, and Interstellar Communication*. Washington, DC: 2014.