



Universidade Federal da Bahia
Instituto de Biologia

Marina de Lima Tavares

A Terra é viva? Hipótese Gaia e definições de vida.

Salvador
2000



Marina de Lima Tavares

A Terra é viva? Hipótese Gaia e definições de vida

Monografia apresentada ao
Instituto de Biologia da
Universidade Federal da Bahia
como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em
Ciências Biológicas, modalidade
Recursos Ambientais

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Salvador
2000

FICHA CATALOGRÁFICA

T231 Tavares, Marina de Lima

A Terra é viva? Hipótese Gaia e definições de vida. / Marina de Lima Tavares.
Salvador, 2000

377p.il.

Orientador: Charbel Niño El-Hani

Monografia (Bacharelado) em ciências biológicas – Instituto de Biologia da UFBA,
2000.

1. Hipótese Gaia 2. Vida 3. Definição 4. Teleologia 5. Cientificidade 6. Monografia I.
El-Hani, Charbel Niño II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III.
Título

CDU 504.7

Durante os quatro anos e meio em que fui aluna do curso de Biologia da Universidade Federal da Bahia, tive contato, através das disciplinas cursadas, com várias áreas da biologia, como zoologia, botânica, biologia celular e genética. Como a maioria dos meus colegas, no decorrer do curso fui identificando-me mais com uma área da biologia (que é fascinante por apresentar uma incrível diversidade de áreas de atuação), no caso, a genética. No entanto, a genética não satisfazia completamente a minha 'curiosidade científica'. A idéia da ciência como algo técnico, voltado apenas para a parte prática e laboratorial, no meu caso, a visualização e análise de cromossomos humanos, gerava em mim certa inconformação. Algo me incomodava. Faltava alguma coisa em minha relação não somente com a genética mas com a ciência em si. Foi quando, ao cursar a disciplina Evolução do Pensamento Científico, ministrada pelo professor Charbel Niño El-Hani nas férias de 1998, entrei em contato com algo completamente novo para mim – a filosofia da ciência. Aprendi que os conceitos teóricos sobre os quais a biologia prática e experimental se sustenta não são verdades absolutas, estando sempre a sofrer reformulações. Descobri a importância da filosofia da ciência para o desenvolvimento da capacidade crítica e da ética daqueles que pretendem trabalhar com a obtenção e divulgação do conhecimento. E, talvez, a coisa mais importante que aprendi foi que, por trás da ciência, existem pessoas e que cada pessoa tem sua própria forma de interpretar a realidade. Desta forma, por mais que tente, ela nunca poderá ser totalmente imparcial em suas interpretações dos fenômenos científicos. Sua visão de mundo a acompanhará sempre. Isso não torna a ciência descartável, mas sim humana.

RESUMO

A hipótese Gaia surgiu a partir de estudos realizados por James Lovelock e Dian Hitchcock, no Laboratório de Propulsão a Jato da NASA, que buscavam verificar a existência de vida nos planetas Vênus e Marte. Para isso, foi realizada a comparação das atmosferas desses dois planetas com a atmosfera do planeta Terra. Os resultados obtidos mostraram que a atmosfera terrestre apresenta como principal característica a instabilidade química, visto que possui gases altamente reativos como o O_2 e o metano, enquanto as atmosferas de Vênus e Marte apresentam predominantemente gases estáveis como o CO_2 . O equilíbrio das atmosferas de Vênus e Marte mostrou a Lovelock e Hitchcock que era praticamente impossível existir vida nesses planetas, visto que as composições de suas atmosferas pareciam ser determinadas unicamente por fatores físico-químicos. As características singulares da Terra levaram Lovelock a desenvolver a hipótese Gaia, na qual se propõe que a biosfera atua como um sistema de controle adaptativo, mantendo a Terra em homeostase. Ele também passou a considerar a Terra análoga aos seres vivos, freqüentemente qualificando-a como um ser vivo. Neste trabalho, foi realizada uma análise da proposição de que a Terra é um sistema vivo na hipótese Gaia à luz de definições de vida encontradas na literatura científica e filosófica. As definições de vida empregadas se encontram nos contextos paradigmáticos da teoria da autopoiese, da biologia evolutiva neodarwinista e da biossemiótica. Foi concluído que o único conceito de vida que poderia ser compatível com a idéia de que a Terra é um sistema vivo é o da vida como autopoiese. O conteúdo empírico e a testabilidade da hipótese Gaia poderiam ser, portanto, enfatizados se proposições como a de que a Terra é viva fossem separadas das proposições nucleares da hipótese.

Capítulo 1

A Hipótese Gaia

1. A Atmosfera Terrestre

A composição da atmosfera terrestre não foi sempre a mesma que conhecemos nos dias de hoje. Para muitos cientistas, como, por exemplo, Lynn Margulis e Dorin Sagan, ela já esteve bem próxima da composição das atmosferas de Marte e Vênus, sendo muito rica em CO_2 e pobre em O_2 . Estas cientistas acreditam que, durante dezenas de milhões de anos, o O_2 se acumulou de forma bastante lenta na atmosfera, visto que boa parte do mesmo era absorvida por organismos vivos e compostos metálicos, por gases atmosféricos reduzidos e por minerais existentes nas rochas.¹ No entanto, há cerca de dois bilhões de anos, com o esgotamento dos reagentes passivos disponíveis na Terra e a grande proliferação das cianobactérias fotossintetizadoras², que emitiam O_2 de forma contínua, este gás passou a acumular-se no ar com grande rapidez - a porcentagem de O_2 presente no ar teve um aumento vertiginoso, passando de 0,0001% para 21%.³ Esse aumento repentino na concentração de O_2 da atmosfera levou à morte muitas bactérias anaeróbias sensíveis à presença desse gás (sobrevivendo apenas aquelas que se isolavam nas camadas anaeróbias de solo e lama) e à seleção de bactérias resistentes a esse gás. Além disso, foram selecionadas algumas cianobactérias que apresentavam respiração aeróbia, uma vez que utilizavam de forma eficaz a reatividade do O_2 para obter mais energia livre dos nutrientes. Desta forma, o O_2 , antes um gás venenoso para uma biosfera dominada por micróbios anaeróbios, se tornou imprescindível aos novos seres vivos (organismos aeróbios) da mesma.

A estabilização do teor de O_2 na atmosfera em cerca de 20% foi mantida até hoje pelos organismos fotossintetizadores (principais responsáveis pela produção contínua de O_2) e aeróbios (que consomem o O_2). A manutenção desse gás em um nível elevado, mas não excessivo, na atmosfera representa um equilíbrio muito importante para as formas de vida

¹ Margulis e Sagan (1986).

² As cianobactérias foram, provavelmente, os primeiros organismos a desprender O_2 como um produto residual de sua fotossíntese. Seus primeiros fósseis datam de cerca de 3,5 bilhões de anos (b.a.). No entanto, há apenas cerca de 2 b.a. que estas apresentaram o 'boom' de proliferação que modificou a composição atmosférica do planeta Terra. Margulis (2000).

³ Margulis e Sagan (1986).

atualmente encontradas no planeta. Caso houvesse um aumento significativo no teor de O₂, os seres vivos simplesmente arderiam em chamas e, caso esse teor diminuísse, os organismos aeróbios principiariam a asfixiar.⁴ De acordo com os experimentos realizados por Andrew Watson, um simples acréscimo de 1% no O₂ atmosférico da Terra poderia aumentar em cerca de 60% a probabilidade de incêndios florestais. Numa concentração de 25% de O₂ atmosférico, mantida por um longo período, toda a vegetação do planeta seria erradicada pela ação do fogo.⁵

O surgimento dos organismos fotossintetizadores na superfície terrestre também teria alterado drasticamente a porcentagem de CO₂. Esse gás, que antes compunha cerca de 95% da atmosfera, hoje contribui com apenas 0,03%.⁶

Uma outra proposta a respeito da distribuição de O₂ na atmosfera estima que possivelmente teriam ocorrido ‘picos’ na taxa de O₂ atmosférico mesmo antes do surgimento da vida na Terra, sendo estes decorrentes de impactos do planeta com asteróides, que liberavam energia suficiente para vaporizar os oceanos.⁷

A ocorrência ou não de gases instáveis como metano e amônia na atmosfera primitiva da Terra também tem sido bastante discutida pelos cientistas.⁸ Vários geoquímicos acreditam que estes gases não existiam na atmosfera primitiva, que seria formada unicamente por CO₂, N₂ e H₂O, visto que, devido ao seu caráter instável, nenhum deles conseguiria permanecer em sua atual configuração numa atmosfera regulada unicamente por fatores físico-químicos.⁹ No entanto, no ano de 1953, Stanley Miller conseguiu produzir biomoléculas simples em laboratório, após submeter as substâncias inorgânicas H₂O, CO₂, metano e amônia a descargas elétricas. Esse experimento teve como objetivo verificar a hipótese proposta independentemente pelo biólogo inglês Haldane e pelo bioquímico russo Oparin de que os processos energéticos que ocorreram no planeta Terra primitivo (que apresentaria uma

⁴ Margulis e Sagan (1986).

⁵ Lovelock (1987).

⁶ Margulis e Sagan (1986).

⁷ Vieyra e Barros (no prelo).

⁸ Matsuura (no prelo).

⁹ Matsuura (no prelo).

atmosfera composta por H₂O, CO₂, metano e amônia) teriam sido capazes de sintetizar moléculas mais complexas, como, por exemplo, os aminoácidos. De acordo com este modelo, metano e amônia seriam componentes indispensáveis para a formação das biomoléculas e o surgimento da vida. Uma atmosfera primitiva apresentando apenas CO₂, N₂ e H₂O tenderia a formar unicamente compostos inorgânicos de nitrogênio.¹⁰ Desta forma, alguns cientistas propuseram novas alternativas para a origem da vida, conjecturando que pelo menos as biomoléculas básicas teriam sido originadas fora do planeta Terra.¹¹ Svante August Arrhenius (1859-1927) foi mais longe ao desenvolver a teoria da panspermia, na qual afirmava que os seres vivos teriam origem extraterrestre, sendo trazidos para a Terra por meio de esporos microbianos propelidos através do meio interestelar pela pressão da radiação.¹² No entanto, as hipóteses que relacionam o surgimento da vida a fatores extraterrestres, pelo menos até o momento, não foram aceitas pela maioria da comunidade científica. Considera-se geralmente que a vida se originou no próprio planeta Terra, não tendo sido trazida de outros planetas.

2. Gaia

O termo Gaia significa, no antigo mito grego, a Terra viva. Para os gregos, Gaia era uma divindade que teria surgido a partir de um redemoinho de névoa na escuridão do nada (CAOS) e aos poucos tornou-se mais visível e desenvolvida, formando montanhas, vales, rios e o céu que a envolve.¹³ Este foi também o termo sugerido pelo escritor William Golding em 1972 e aceito por James Lovelock para denominar sua hipótese do planeta Terra como um sistema ativo de controle.¹⁴

A hipótese Gaia surgiu a partir de estudos da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), cujo intuito era descobrir indícios da existência de vida em planetas como Vênus e Marte. Esses estudos tiveram início em 1960, sendo realizados por Lovelock e Dian Hitchcock no Laboratório de Propulsão a Jato da NASA, na Califórnia. Eles propuseram que fosse feita uma análise comparativa das atmosferas de Vênus e Marte com a atmosfera de outro planeta onde a presença de vida fosse comprovada - a Terra. Em sua concepção, um

¹⁰ Matsuura (no prelo).

¹¹ Matsuura (no prelo).

¹² Arrhenius, citado por Matsuura (no prelo).

¹³ Sahtouris (1991).

¹⁴ Lovelock (1990).

planeta que não apresentasse vida seria caracterizado por apresentar uma atmosfera próxima a um equilíbrio químico, visto que esta seria determinada unicamente por fatores físico-químicos. Já a atmosfera de um planeta que apresentasse organismos vivos estaria em um constante desequilíbrio químico, porque estes organismos estariam sempre utilizando-a como fonte de matéria prima e depósito de resíduos.¹⁵

Como resultado da comparação entre estas atmosferas, foi observada grande diferença em suas composições químicas. As composições atmosféricas de Vênus e Marte estavam muito próximas a um equilíbrio químico, ambas apresentando como principal componente o dióxido de carbono (CO_2). Em ambas as atmosferas, a concentração de dióxido de carbono era de cerca de 98%, seguida por cerca de 2% de nitrogênio, com traços de oxigênio (menos de 1%) e algum vapor d'água.¹⁶ Já na atmosfera terrestre, o nitrogênio (79%) e o oxigênio (21%) foram os gases dominantes, enquanto foram encontrados apenas 0,03% de dióxido de carbono.¹⁷ Além destes componentes, foram encontrados na atmosfera terrestre monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2), amônia (NH_3) e ácido clorídrico (HCL). Foi observado que, ao contrário das atmosferas de Vênus e Marte, a atmosfera terrestre apresenta gases altamente reativos como o oxigênio (O_2) e o metano (CH_4), assim como gases de fácil decomposição como o óxido nítrico (NO_2), caracterizando-se por encontrar-se em um estado de instabilidade. Esta situação de instabilidade ou de desequilíbrio, no entanto, contrariando todas as probabilidades, se mantém na atmosfera terrestre há um longo período de tempo. Os resultados obtidos nesse estudo levaram Lovelock e Hitchcock à conclusão de que seria praticamente impossível existir vida no planeta Marte, visto que este se apresentava bastante próximo a um estado de equilíbrio químico. A melhor explicação para a instabilidade atmosférica do planeta Terra seria uma atuação direta da biosfera, utilizando a atmosfera como fonte de matéria prima e para a liberação de seus resíduos.¹⁸

¹⁵ Lovelock (1990).

¹⁶ Margulis (2000).

¹⁷ Margulis (2000).

¹⁸ Lovelock (1990).

Além da manutenção de uma instabilidade atmosférica, Lovelock se interessou por outra característica singular do planeta Terra, a existência de uma relativa constância climática desde o surgimento da biosfera. Estudos de fósseis levaram a comunidade científica a acreditar que a temperatura do planeta não sofreu alterações significativas, pelo menos nos últimos 3,3 bilhões de anos.¹⁹ Mesmo as mudanças climáticas decorrentes das últimas glaciações não teriam sido tão bruscas, com as regiões de clima tropical diminuindo não mais que 8°C de sua temperatura nos períodos interglaciais.²⁰ Knauth e Epstein acreditam que o planeta pode até mesmo ter passado por um processo de resfriamento, já que seus estudos mostraram que, durante o período Arqueano, a temperatura da Terra era mais alta que a sua temperatura atual.²¹ Todos estes fatos se tornaram intrigantes quando estudos astronômicos mostraram que o sol apresentou um aumento de tamanho e luminosidade de aproximadamente 25% desde o surgimento da vida na Terra - um aumento previsível para todas as estrelas de primeira ordem - e que mesmo após este acréscimo de luminosidade solar, a temperatura do planeta não aumentou, mantendo-se relativamente constante desde o surgimento da vida até os dias de hoje.²²

Na tentativa de explicar a constância climática do planeta Terra, Walker propôs um modelo de retroalimentação (*feedback*) completamente abiológico. Neste modelo, o ajuste automático da pressão parcial do CO₂ atmosférico possibilitaria o controle da temperatura do planeta para que esta permanecesse estável, apesar do contínuo aumento da luminosidade solar.²³ A adoção do CO₂ como gás regulador da temperatura se deve ao seu caráter estável e à sua capacidade de absorver e enviar radiação ultravioleta para a superfície terrestre.²⁴ Para Walker, quanto maior a pressão parcial do CO₂ na atmosfera, maior seria a temperatura do planeta. Um aumento na temperatura afetaria diretamente a taxa de reação entre o CO₂ e o cálcio das rochas silicadas, podendo também aumentar o índice pluviométrico. Seria observada então, a ocorrência de uma retroalimentação (*feedback*), já que estes dois fatores

¹⁹ Sagan e Mullen (1972), citados por Lovelock e Margulis (1974).

²⁰ Emiliani (1972), citado por Lovelock & Margulis (1974).

²¹ Knauth e Epstein (1976), citados por Lovelock e Watson (1982).

²² Lovelock e Watson (1982).

²³ Walker (1981), citado por Lovelock e Watson (1982).

²⁴ Lovelock e Watson (1982).

em conjunto seriam capazes de diminuir a concentração parcial de CO₂ na atmosfera, reduzindo, assim, a temperatura do planeta.²⁵

Lovelock e Watson concordam com Walker quando este apresenta a relação entre a pressão parcial do CO₂ na atmosfera e a temperatura do planeta. No entanto, eles acreditam que o ciclo do CO₂ seria determinado biológica e não geoquimicamente.²⁶ As bactérias seriam os organismos responsáveis pela produção e manutenção de uma alta taxa de CO₂ no solo, sendo capazes de dobrar sua produção a cada 10°C de aumento de temperatura.²⁷ Elas também funcionariam como agentes facilitadores da reação do CO₂ com as rochas silicadas. Desta forma, as bactérias do solo teriam um lugar de destaque no controle da temperatura do planeta, já que elas seriam responsáveis pelo aumento da concentração de CO₂ no solo e por sua diminuição na atmosfera, mantendo a pressão parcial do CO₂ do solo de 10 a 40 vezes maior que a pressão parcial do CO₂ atmosférico. As bactérias seriam essenciais para que o ciclo de Walker fosse funcional.

Para Lovelock e Watson caso não houvesse vida no planeta Terra, a pressão parcial do CO₂ do solo certamente cairia para níveis mais baixos que o atmosférico, visto que a difusão limitaria a taxa de transferência deste gás para as rochas silicadas.²⁸ Desta forma, o aumento na taxa de CO₂ atmosférico seria inevitável. Este gás aumentaria até atingir um novo equilíbrio e o planeta apresentaria temperaturas mais altas em sua superfície.

Todas estas características singulares do planeta Terra levaram Lovelock a propor a hipótese Gaia, na qual ele considera o planeta Terra como um sistema de autocontrole. Neste sistema, a biosfera e o meio ambiente estariam acoplados e seriam inseparáveis:

Gaia é uma entidade complexa que envolve a atmosfera terrestre, a biosfera, os oceanos e o solo. Esta totalidade constitui um controle de retroalimentação (*feedback*) ou um sistema cibernético, que busca alcançar um ótimo físico e químico do ambiente para a biota.²⁹

²⁵ Walker (1981), citado por Lovelock e Watson (1982).

²⁶ Lovelock e Watson (1982).

²⁷ Lovelock e Watson (1982).

²⁸ Lovelock e Watson (1982).

²⁹ Lovelock e Margulis (1974).

Com a colaboração da microbiologista Lynn Margulis, que estudava a produção e remoção dos gases por vários organismos, especialmente as bactérias presentes no solo, Lovelock procurou exemplificar e fortalecer sua hipótese. Como resultado desta união, estes cientistas foram capazes de identificar uma complexa rede de alças de retroalimentação, que, em sua concepção, criaria a auto-regulação do sistema planetário. Desta forma, Lovelock e Margulis chegaram a um aprofundamento da definição de Gaia, que implicaria a biosfera funcionando como um sistema de controle adaptativo e mantenedor da homeostase no planeta Terra:

A noção da biosfera como um sistema de controle adaptativo que mantém a Terra em homeostase é o que nós denominamos hipótese Gaia.³⁰

Na tentativa de exemplificar os mecanismos reguladores postulados na hipótese Gaia, Lovelock e Watson criaram como modelo um planeta hipotético conhecido como o Mundo das Margaridas (*Daisyworld*).³¹ Este planeta teria cerca de 70% de sua superfície coberto por duas espécies de margaridas, as pretas e as brancas. Em seu modelo, Lovelock e Watson atribuem às margaridas a capacidade de funcionarem como estabilizadoras da temperatura de todo o planeta unicamente através do seu desenvolvimento. Esta é uma função obviamente hipotética; afinal, caso realmente exista uma regulação climática da biosfera, esta certamente não é realizada apenas por margaridas mas por todo o conjunto de seres vivos encontrado em sua superfície.

Para entender como ocorreria o controle da temperatura no mundo das margaridas, basta imaginar que, orbitando ao seu redor, existiria uma estrela que pouco a pouco aumentaria a sua luminosidade. Inicialmente nasceriam poucas margaridas e, com o aumento da temperatura da estrela, elas passariam a crescer bem mais, podendo ser observados enormes tapetes de margaridas pretas e brancas. Pelo fato de possuírem maior capacidade de absorção de luz, as margaridas pretas teriam uma maior vantagem em relação às brancas quando a temperatura estivesse baixa, aparecendo assim em maior abundância na superfície

³⁰ Lovelock (1990).

do planeta. Ao absorverem a luz da estrela hipotética e impedirem que ela fosse refletida para o espaço, as margaridas pretas seriam capazes de aquecer o planeta que, com o passar do tempo, atingiria temperaturas mais altas. Estas altas temperaturas limitariam o crescimento das margaridas pretas e passariam a favorecer o crescimento das brancas, que, por serem capazes de refletir a luz para o espaço, iriam levar a uma diminuição na temperatura do planeta. Com a temperatura do planeta mais baixa, as margaridas pretas teriam novamente seu desenvolvimento favorecido. Este processo continuaria ocorrendo até que a estrela hipotética atingisse o estado de gigante vermelha e queimasse todas as margaridas da superfície do planeta.³² Esta auto-regulação planetária não seria proposital e nem envolveria qualquer tipo de planejamento da biota.³³

3. Gaia e teleologia

Lovelock afirma que a auto-regulação do clima e da composição química do planeta Terra não teriam um caráter teleológico, mas resultariam de propriedades emergentes do sistema ou da relação entre a biosfera e o meio ambiente.³⁴ No entanto, a idéia de propósito muitas vezes está implícita no discurso dos próprios criadores da hipótese Gaia. James Kirchner, um dos maiores opositores à hipótese Gaia, utilizou uma descrição dada por Lovelock e Margulis, denominada por ele Gaia Teleológica, como um argumento para criticar a hipótese Gaia em seu artigo “As Hipóteses Gaia: Elas são Testáveis? Elas são Úteis?”³⁵, apresentado na Conferência da União Americana de Geofísica em Março de 1988.³⁶ Neste artigo, Kirchner afirma que a hipótese Gaia não é uma hipótese única, mas várias hipóteses, que variariam de fracas a fortes. As hipóteses fracas incluiriam aquelas que colocam a biosfera como participante da dinâmica planetária, o que não seria, observa Kirchner, novidade para os cientistas. Já as hipóteses fortes incluiriam aquelas que se referem a uma fisiologia planetária com o propósito de regular a dinâmica da Terra. A descrição criticada por Kirchner (Gaia Teleológica) é a seguinte:

³¹ Lovelock e Watson (1983), citados por Lovelock (1992).

³² Margulis e Sagan (1986).

³³ Lovelock (1990).

³⁴ Lovelock (1990).

³⁵ Kirchner (1993).

³⁶ Essa conferência foi organizada pelo geofísico Stephen Schneider (1993), por considerar Gaia uma hipótese interessante e controversa, merecedora de discussão pela comunidade científica.

A atmosfera terrestre é mais que meramente anômala; ela aparece para ser um estratagema constituído especificamente para um conjunto de propósitos.³⁷

Kirchner considera a explicação da hipótese Gaia incompleta, visto que não existe qualquer menção, nesta descrição, sobre qual seria o propósito da manutenção de uma atmosfera anômala na Terra.³⁸ Ele afirma que certamente a atmosfera apresenta um grande número de funções importantes, mas questiona qual ou quais seriam as funções da atmosfera que alcançariam este ‘propósito’? O próprio Kirchner responde a este questionamento utilizando uma outra definição da hipótese Gaia (também colocada por Lovelock e Margulis), que ele denomina Gaia otimizadora:

Nós acreditamos que é improvável que apenas o acaso explique o fato de que a temperatura, o pH e a presença do conjunto de nutrientes tenham sido, por um enorme período de tempo, apenas aqueles ótimos para a vida na superfície. Ao contrário, nós apresentamos a hipótese Gaia, a idéia de que energia é gasta pela biota para ativamente manter este ótimo.³⁹

Nesta explicação, observa-se que o ‘propósito’ a ser alcançado é a criação de condições físicas favoráveis à biosfera. A biosfera controlaria a atmosfera e faria isso com o propósito de manter-se no planeta. Kirchner questiona, então, qual seria esta condição favorável à biosfera, já que esta é formada por uma enorme diversidade de organismos, cada qual com diferentes, e muitas vezes conflitantes, requisitos para sua sobrevivência.⁴⁰ Ele finaliza sua argumentação afirmando que não acredita na existência de um propósito na manutenção da constância climática e da instabilidade atmosférica pela biosfera, acrescentando que não existe forma de testar-se a veracidade da Gaia otimizadora (ou seja, essa hipótese não seria científica). Para Kirchner, a hipótese Gaia não passa de uma afirmação poética⁴¹ que, no que tem de novo, não é científica, e no que tem de cientificamente aceitável, é trivial.

³⁷ Lovelock e Margulis (1974), citados por Kirchner (1993).

³⁸ Kirchner (1993).

³⁹ Lovelock e Margulis (1974), citados por Kirchner (1993).

⁴⁰ Kirchner (1993).

⁴¹ Kirchner (1993).

A questão da validade científica da utilização de termos como ‘propósito’, ‘função’ ou ‘objetivo’ tem gerado grande polêmica entre os cientistas. As explicações teleológicas, ou seja, aquelas que consideram que um determinado evento ocorre para que um certo fim seja alcançado ou algum propósito seja cumprido no sistema no qual o evento tem lugar⁴² - como no caso da biosfera influenciando a atmosfera para manter a homeostase do planeta Terra - são muitas vezes consideradas inadequadas como explicações científicas. De acordo com Charles Taylor, a aceitabilidade ou não da linguagem teleológica no discurso científico depende das premissas assumidas por uma comunidade de pesquisadores quanto à natureza dos termos que podem ser incluídos nas leis científicas. Dessa forma, Taylor distingue duas posições altamente polarizadas, a holista e a atomista, no que diz respeito à validade da linguagem teleológica.⁴³ Ele define o atomismo como uma posição na qual cada termo citado numa lei deve ser passível de identificação de maneira independente de qualquer outro termo que figure em qualquer outra lei. O resultado é uma partição do mundo em unidades discretas de informação, individualizadas apenas por propriedades intrínsecas. Isso não significa, no entanto, que os atomistas ignorem a contínua interação dos corpos que se encontram na natureza. Os atomistas não ignoram as relações, mas apenas sustentam que as propriedades relacionais são, em última análise, redutíveis a propriedades inerentes às partes que se encontram em relação.⁴⁴ Já a doutrina holista ou ‘anti-atomista’ é definida por Taylor como uma posição que admite a existência de leis básicas ao nível dos sistemas animados que não demandam explicação adicional por meio de leis mais básicas, formuladas em termos das unidades que compõem estes sistemas. Observa-se, então, a existência de um conflito entre as premissas atomistas e holistas no que se refere ao requisito de redução das explicações a unidades discretas de informação. Ao referir-se às explicações teleológicas, Taylor afirma que estas se caracterizam por proporem que um evento ocorrendo para um certo fim, com um dado propósito, ou seja, que o evento ocorre porque *é o tipo de evento que produz aquele fim*. O fato de que esse é o evento necessário para que se obtenha, num certo estado de coisas, o fim em questão é considerado, em tal explicação, *condição suficiente para a ocorrência do evento*.⁴⁵ Para o atomista, a linguagem teleológica não é necessária à ciência, sendo possível

⁴² Taylor (1964).

⁴³ Taylor (1964). Para uma crítica da polarização dessa polêmica nos extremos holismo e atomismo, ver El-Hani (2000).

⁴⁴ Levine et al. (1987); El-Hani e Pereira (1999a,b); El-Hani (2000).

⁴⁵ Taylor (1964).

reinterpretar as explicações teleológicas por meio de uma linguagem não-teleológica, compatível com o discurso científico. No entanto, Taylor argumenta, primeiro, que a linguagem teleológica é compatível com o discurso da ciência e, segundo, que geralmente ocorre uma perda de conteúdo informacional quando os defensores da linha de pensamento atomista procuram traduzir as explicações teleológicas em leis não-teleológicas, visto que “a explicação teleológica é capaz de fornecer algo que a explicação causal/mecânica não propicia, um conjunto de condições do qual depende o comportamento do sistema, o que torna sua capacidade preditiva e explanatória maior”.⁴⁶

O problema da não-aceitação da explicação teleológica por boa parte dos cientistas (como foi visto, o próprio Lovelock faz questão de enfatizar que sua hipótese nada apresenta de teleológica) pode ser proveniente da má utilização da mesma por alguns ou talvez de uma interpretação equivocada do significado do termo ‘propósito’. Mayr resume as principais críticas à explicação teleológica como segue: Esta forma de explicação tem sido criticada (1) por supostamente implicar doutrinas teológicas ou metafísicas que não poderiam ser verificadas; (2) por supor que objetivos futuros poderiam causar eventos no presente, de modo que não seria compatível com qualquer conceito de causalidade; (3) por apresentar um antropomorfismo questionável; e (4) porque a aceitação de explicações de fenômenos biológicos que não são válidas para a natureza inanimada constituiria uma rejeição da explicação causal-mecânica ou físico-química.⁴⁷ Mayr propõe uma forma de resolver o problema das explicações teleológicas que consiste em distinguir quatro tipos diferentes de fenômenos aos quais o termo ‘teleológico’ pode ser aplicado, introduzindo-se conceitos apropriados para cada uma das categorias encontradas, de modo a demarcar aquelas que são compatíveis com o discurso científico e aquelas que não o são. As quatro categorias distinguidas por Mayr são as seguintes: processos teleonômicos, processos teleomáticos, sistemas adaptativos e teleologia cósmica.⁴⁸ Processos teleonômicos são processos direcionados para um dado objetivo que são guiados por um programa e dependem da existência de algum ponto final antevisto no programa. Os processos teleonômicos podem ser caracterizados por apresentarem dois componentes essenciais: (1) um programa pelo qual são

⁴⁶ El-Hani (2000).

⁴⁷ Mayr (1988).

⁴⁸ Mayr (1982, 1988).

guiados e (2) um ponto final a ser alcançado.⁴⁹ São incluídos nesse conceito todos os processos de desenvolvimento individual (ontogenia), além dos processos relacionados à fisiologia e aos comportamentos direcionados para objetivos predeterminados. O conceito de programa proposto por Mayr é o seguinte:

A título de tentativa, programa poderia ser definido como informação codificada que controla um processo (ou comportamento) conduzindo-o na direção de um dado fim. [...] o programa contém não apenas o projeto, mas também as instruções de como usar a informação do projeto.⁵⁰

O processo teleonômico, como uma forma de atividade teleológica, tem seu uso plenamente justificado na biologia.⁵¹

Processos teleomáticos são aqueles nos quais um fim é alcançado como consequência estrita de leis físicas, ocorrendo particularmente em objetos inanimados. Estes processos seriam conduzidos para determinado fim de maneira passiva e automática, sendo regulados por forças externas, em contraste com o papel da informação genética, como um fator interno, no caso dos processos teleonômicos. Mayr cita como exemplos a queda de um corpo em virtude da lei da gravitação ou o resfriamento de um pedaço de ferro devido à primeira lei da termodinâmica. Este processo se diferencia do processo teleonômico por não apresentar informação incorporada ao sistema.⁵²

O conceito de sistemas adaptativos foi desenvolvido para englobar os processos de adaptação dos seres vivos. Mayr considera que o termo ‘teleológico’ não é apropriado para denominar estruturas resultantes de adaptações evolutivas sofridas pelos seres vivos, como, por exemplo, o surgimento de órgãos como o coração e os rins, visto que estas seriam um resultado de seleções ocorridas no passado e não uma antecipação de eventos futuros.⁵³ Uma linguagem adaptacional ou selecionista seria mais apropriada nesse caso do que uma

⁴⁹ Mayr (1982, 1988). Convém observar, no entanto, que o conceito de ‘programa genético’ tem sido criticado de maneira incisiva na literatura (por exemplo, Oyama 1985, Levins e Lewontin 1985, Nijhout 1990, Smith 1994, El-Hani 1995, 1997), por implicar consequências reducionistas, possivelmente inaceitáveis para o próprio Mayr.

⁵⁰ Mayr (1988).

⁵¹ Mayr (1988).

⁵² El-Hani (2000).

linguagem teleológica, que poderia implicar a existência de forças ortogenéticas responsáveis pela origem dos órgãos, quando na realidade, estes são provenientes de processos evolutivos.⁵⁴ Apesar de muitos sistemas adaptativos como o locomotor e o sistema nervoso central também estarem envolvidos em processos ou comportamentos teleonômicos, Mayr argumenta que o termo ‘teleológico’ não deve ser aplicado a sistemas adaptativos apenas por estes incluírem estruturas executivas de comportamentos dirigidos para determinado fim. Sendo assim, ele propõe que todos os sistemas adaptativos dos seres vivos sejam considerados sistemas somáticos que podem apresentar atividades dirigidas para objetivos ou teleonômicas como atividades funcionais e estruturais.⁵⁵

A última categoria distinguida por Mayr é a da teleologia cósmica, caracterizada pela crença na existência de uma força imanente no mundo que orientaria sua evolução rumo a um objetivo final ou, no mínimo, a uma perfeição cada vez maior.⁵⁶ De acordo com essa concepção, existiria uma tendência de os seres vivos evoluírem de modo a alcançarem graus cada vez maiores de perfeição. A teleologia cósmica não é admitida no pensamento biológico contemporâneo, de acordo com o qual a teoria da seleção natural fornece, por si só, explicação suficiente para a origem das adaptações sofridas pelos seres vivos, sem precisar recorrer a quaisquer forças que supostamente determinariam um objetivo para o processo evolutivo. A interpretação das explicações teleológicas como referências a uma teleologia cósmica é, provavelmente, o motivo mais importante para a rejeição contundente, pela ciência moderna, dos conceitos teleológicos. No entanto, explicações em termos de processos teleonômicos e teleomáticos são consistentes com o discurso científico. Ao colocar a hipótese Gaia como teleológica, Lovelock certamente não pretendeu apresentar um planeta com ‘vontade própria’ ou em busca de algum tipo de ‘perfeição’. Gaia, dessa forma, não está inserida no contexto da teleologia cósmica. É mais provável que o autor da hipótese Gaia tenha referido-se a alguma ou algumas das outras categorias de teleologia propostas por Mayr. Desta forma, a hipótese Gaia não seria anti-científica ou uma simples afirmação poética

⁵³ Mayr (1982).

⁵⁴ Mayr (1982).

⁵⁵ Mayr (1988).

⁵⁶ Mayr (1988).

(como coloca Kirchner). A relação das categorias teleológicas com a hipótese Gaia será discutida mais detalhadamente no capítulo 4.

4. A Terra viva?

Um outro aspecto da hipótese Gaia que gerou certo grau de descrença por parte dos cientistas foi sua própria denominação - Gaia, a Terra viva. De acordo com a semioticista Myrdene Anderson, o termo Gaia é um signo vazio e apresenta possibilidades quase infinitas de significados.⁵⁷ Desta forma, ao colocar o nome Gaia em sua hipótese e ao comparar o planeta Terra aos organismos vivos, afirmando que ambos seriam sistemas abertos que apresentariam limites estruturais, Lovelock, de forma não-intencional, abriu espaço para que sua hipótese sofresse interpretações as mais diversas. Isso afastou muitos cientistas, que passaram a considerar esta hipótese sem qualquer valor científico.⁵⁸ Buscando uma forma de minimizar o repúdio dos cientistas, Lovelock sugeriu a mudança do termo Gaia para 'geofisiologia', uma denominação criada por ele próprio, na qual se faz uma analogia com a fisiologia dos seres vivos. Nesses termos, a Terra seria considerada um super-organismo. No entanto, de acordo com o próprio Lovelock, o termo 'geofisiologia' não se tornou muito difundido no meio científico.⁵⁹

A caracterização da Terra como um ser vivo ou um super-organismo apresentando uma dinâmica fisiológica ou uma geofisiologia coloca nosso planeta como sendo algo muito mais importante do que uma simples moradia dos seres vivos. A Terra deixa de ser a casa dos seres vivos e passa a ser uma unidade - englobando os seres vivos e o meio ambiente - que 'sobrevive' graças às relações entre estas partes e às características particulares geradas por elas. Para Lovelock, ao levar-se em consideração as relações entre a biosfera e as condições físico-químicas do planeta Terra, este passa a apresentar características que são comuns a todos os seres vivos. Mas em que sentido a Terra poderia ser considerada um ser vivo? Não é possível responder a essa questão, que se mostra importante para a apreciação da cientificidade da hipótese Gaia, sem tomar-se algum conceito (ou alguns conceitos) de vida

⁵⁷ Anderson, citado por Lovelock (1990).

⁵⁸ Schneider e Boston (1993).

⁵⁹ Lovelock (1990).

como referenciais. Neste trabalho, pretende-se verificar a possibilidade do aspecto da hipótese Gaia que considera o planeta Terra como um ser vivo ser compatível com alguns dos conceitos de vida que podem ser encontrados na literatura científica e filosófica. A análise da hipótese Gaia será realizada com base em trabalhos originais de Lovelock e Margulis, não sendo levadas em consideração interpretações encontradas em alguns discursos ambientalistas e da Nova Era, que muito contribuíram para que esta hipótese fosse cada vez mais hostilizada pela comunidade científica. Este trabalho não avaliará, no entanto, se a interpretação do planeta Terra como um sistema capaz de realizar auto-regulação, proposta na hipótese Gaia, se apresenta como um argumento de interesse científico.

Antes de discutir a compatibilidade da hipótese Gaia com conceitos de vida, será necessário abordar o tema 'vida' de forma que possamos chegar a um referencial sobre o que é considerado um ser vivo no meio científico. Assim, ao obtermos um marco teórico sobre os conceitos de vida, poderemos analisar a proposição de que a Terra é um ser vivo. Desse modo, no capítulo II, será realizada uma discussão sobre definições de vida, mostrando que, ao contrário do que boa parte dos cientistas afirma, é possível definir vida e, além disso, que já existem definições de vida em paradigmas da biologia teórica. No capítulo III, serão apresentadas e discutidas três definições de vida (nos contextos da teoria da autopoiese, biologia evolutiva neodarwinista e biossemiótica) que apresentam em comum o fato de estarem baseadas em marcos teóricos aceitos no meio científico. Finalmente, no capítulo IV, será realizada uma discussão buscando verificar a possibilidade de a proposição, na hipótese Gaia, de que a Terra é um ser vivo, estar ou não englobada em algum (ou alguns) dos conceitos de vida apresentados neste trabalho.

Capítulo 2

Vida: Podemos Conceituá-la?

Estamos cercados por vida. Os seres vivos estão espalhados por todo o planeta Terra, podendo habitar os ambientes mais inóspitos, como desertos ou regiões polares. Em nosso dia a dia, podemos nos deparar com vários organismos dos mais diversos tamanhos e formas. Mesmo nas grandes cidades, onde os problemas decorrentes da poluição e do desmatamento têm gerado o desaparecimento de muitas plantas e animais, ainda nos deparamos com diferentes árvores, insetos, pássaros, pequenos mamíferos etc. Na verdade, nem é preciso sair de casa para encontrarmos seres vivos. Quem nunca acordou com o zumbido de um mosquito ou encontrou o açucareiro povoado por formigas? E nós, afinal? Por acaso não somos também seres vivos?

A vida é um fenômeno intrigante. Inicialmente não parece apresentar-se como um grande enigma; afinal, de um modo geral é muito fácil diferenciar um organismo vivo de um não-vivo – peixes e formigas estão vivos enquanto velas, cristais e nuvens não estão. No entanto, esta questão se torna mais difícil quando tentamos classificar casos limítrofes como os vírus ou a sopa bioquímica envolvendo fragmentos de RNA dos laboratórios de genética:

Casos limítrofes como os vírus levantam a questão geral de se a vida é preta ou branca, como poderia parecer à primeira vista, ou se ela aparece em tons de cinza.⁶⁰

A grande diversidade de seres vivos encontrada na Terra nos leva a questionar qual ou quais propriedades estes organismos teriam em comum. Para dificultar ainda mais as coisas, é preciso levar em consideração que, quando a vida surgiu no planeta, ela apresentava forma transientes, anteriores ao surgimento das células.⁶¹ Um outro aspecto que deve ser levado em consideração é a possibilidade de existência de formas extraterrestres de vida. Alguns cientistas, como Matsuura, por exemplo, acreditam que o planeta Terra não apresenta um caráter excepcional, sendo apenas um dentre os vários possíveis nichos de vida no Universo

⁶⁰ Bedau (1996).

⁶¹ Luisi (1997).

(esta concepção é conhecida como *o princípio da mediocridade*).⁶² Outros consideram possível a existência de diferentes tipos de vida, baseados não no carbono mas no silício, apesar de este apresentar ligações químicas mais fracas que a do carbono e ter suas cadeias rompidas na presença de água.⁶³ Existe ainda o estudo da Vida Artificial, que é relativamente novo e interdisciplinar, procurando, a partir da utilização da computação e da robótica, bem como da manipulação gênica e de outros métodos da biotecnologia, construir formas completamente novas e genuínas de vida para, dessa forma, compreender o que seria verdadeiro em termos universais acerca da vida e o que seriam simplesmente aspectos particulares, contingentes, da forma de vida que evoluiu na Terra.⁶⁴ Desta forma, seria insatisfatório estudar e definir vida com base apenas nas formas encontradas atualmente em nosso planeta. Para que um conceito abranja todos os seres vivos, é preciso levar em consideração as formas encontradas no passado, além de incluir o estudo da Vida Artificial, ou seja, não apenas da ‘vida-como-nós-a-conhecemos’ em seus espécimes terrestres, mas também da ‘vida-como-ela-poderia-ser’.⁶⁵

Devido a esta aparente dificuldade de definir vida e à tendência experimentalista que domina atualmente a biologia, originou-se entre os biólogos uma atitude cética a respeito da conceituação de vida. Grande parte dos biólogos passou a ignorar esta questão, seja por considerá-la muito difícil de ser resolvida, seja por acreditar que uma definição de vida não apresentaria qualquer importância prática para a ciência. Esta posição tomada por boa parte dos biólogos – que por definição são os estudiosos da vida – causa espanto. Afinal, era de se esperar que estes fossem os primeiros a procurar definir de forma clara seu objeto de investigação.⁶⁶ No entanto, a visão atual sobre a definição de vida no campo da biologia não reflete esta expectativa natural, como destaca Mark Bedau:

Havia um tempo em que a natureza da vida dizia respeito aos filósofos - pense em Aristóteles e Kant – mas a maioria dos filósofos atualmente ignora esta questão, talvez porque ela pareça ser ‘científica’ demais. Ao mesmo tempo, enquanto alguns biólogos fazem comentários a respeito da

⁶² Matsuura (no prelo).

⁶³ Matsuura (no prelo).

⁶⁴ Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁶⁵ Luisi (1997), Emmeche (1997).

⁶⁶ Emmeche e El-Hani (no prelo).

vida, o campo da biologia apresenta poucas discussões sérias e corroboradas da questão em geral, talvez porque este tópico pareça ‘filosófico’ demais.⁶⁷

Mayr, por exemplo, afirma que os esforços para definir vida são fúteis, na medida em que está inteiramente claro que não há substância, objeto ou força especial que possa ser identificada com a vida.⁶⁸ Ele acrescenta, no entanto, que o processo da vida poderia ser definido e compreendido, visto que existe uma diferença real entre os seres vivos e os objetos inanimados.⁶⁹ Existiriam características comuns a todos os processos vivos e inexistentes nos processos inanimados. A forma como Mayr aborda o problema da definição de vida, colocando o agrupamento de características comuns aos processos vivos como a única maneira de diferenciá-los dos processos inanimados, é uma atitude comum entre os biólogos, tendo sido denominada por Emmeche *visão tradicional sobre a definição de vida*.⁷⁰ Na tentativa de encontrar definições para a vida, alguns cientistas formularam listas buscando destacar as características que seriam comuns a todos os seres vivos. Estas características serviriam como forma de agrupar os seres vivos e desta maneira diferenciá-los dos não vivos.⁷¹ Muitas listas foram criadas como a de Crick, que apresentava aspectos como auto-reprodução, evolução e metabolismo;⁷² a de Farmer e Belin, que citava oito características comuns aos seres vivos: processo, auto-reprodução, armazenamento de informações, metabolismo, interações funcionais com o ambiente, estabilidade sob perturbações e capacidade de evoluir;⁷³ e a de Mayr, que também listou oito características, que, segundo ele, diferenciariam os processos vivos dos processos inanimados, incluindo: organização complexa e adaptativa; singularidade química, no sentido das propriedades extraordinárias observadas nas macromoléculas normalmente encontradas em seres vivos, mas não na matéria inanimada; qualidade (onde Mayr faz um contraste entre o mundo físico como um mundo de quantificação e o mundo biológico como um mundo de qualidades, diferenças individuais, sistemas de comunicação, interações em ecossistemas etc.); individualidade e variabilidade;

⁶⁷ Bedau (1996).

⁶⁸ Mayr (1982).

⁶⁹ Mayr (1982).

⁷⁰ Emmeche (1997).

⁷¹ Bedau (1996).

⁷² Crick (1981), citado por Bedau (1996).

⁷³ Farmer e Belin (1992), citados por Bedau (1996).

presença de um programa genético; natureza histórica; seleção natural; e indeterminação (incluindo a emergência de qualidades genuinamente novas no curso da evolução biológica).⁷⁴

A tentativa de caracterizar a vida por meio de listas de características é cercada por problemas de solução difícil ou até mesmo impossível. Um dos problemas diz respeito ao número e tipo das propriedades que devem ser incluídas em uma lista de condições suficientes e necessárias para a vida. De todas as listas possíveis de propriedades, qual seria a mais correta? Como poderíamos garantir que uma propriedade essencial não foi deixada de fora? Ou que uma propriedade dispensável não foi incluída? Não temos como responder a estas perguntas, pelo simples fato de que não podemos ter acesso à essência da vida, àquilo que define essencialmente um sistema como vivo. E há ainda o problema das chamadas ‘formas limítrofes’, como vírus e outras estruturas moleculares que apresentam, ao mesmo tempo, propriedades características da matéria bruta e de seres vivos.⁷⁵ O próprio Mayr, por exemplo, reconheceu que sua lista provavelmente seria incompleta e um pouco redundante.⁷⁶ Na verdade, todas as caracterizações da vida produzidas através de listas tendem a ser incompletas e redundantes; afinal, não basta fornecer uma lista de propriedades definidoras de vida; é preciso relacionar estas características e enquadrá-las em algum paradigma específico da biologia.⁷⁷ Deve-se atentar, então, para o modo como os conceitos adquirem significado num paradigma:

Em um paradigma, os conceitos são definidos em termos de outros conceitos, ou seja, eles não adquirem significado de maneira isolada e, tampouco, por meio de uma relação entre o ato de definir (isto é, de dar um significado particular a um conceito) e a realidade. Ao contrário, definir um conceito implica inseri-lo em uma rede de conceitos que se suportam mutuamente e conferem significado uns aos outros. Esta rede de conceitos não pretende capturar a realidade essencial do que está sendo definido (por exemplo, a vida). O que acontece é que o conceito que está sendo definido adquire um significado específico, em virtude de suas conexões com os demais conceitos na rede.⁷⁸

⁷⁴ Mayr (1982).

⁷⁵ Emmeche e El-Hani (1999, no prelo).

⁷⁶ Mayr (1982).

⁷⁷ Emmeche (1997), Emmeche e El-Hani (1999, no prelo).

Mark Bedau exemplifica a necessidade de buscar causas para as características comuns aos seres vivos em um trecho muito interessante de seu artigo “The Nature of Life”, no qual faz uma analogia entre uma lista de características para a vida e uma síndrome médica.

A lista deve se referir a algo como uma síndrome médica – uma coleção de sintomas para os quais não existe causa. Mas quando médicos descobrem a coexistência das características de uma lista de sintomas, eles buscam uma causa subjacente.⁷⁹

Quando o conceito de ‘vida’ adquire significado no contexto de um paradigma, é importante verificar se as características dos seres vivos, antes meros tópicos de uma lista incompleta, passam a ser explicados por meio de causas subjacentes, tornando-se, assim, significativas no contexto daquele paradigma.

Claus Emmeche propõe os seguintes requisitos básicos para uma definição de vida satisfatória: (i) Uma definição deve ser universal e coerente com a compreensão dos sistemas vivos na ciência moderna; (ii) ser estruturada de modo a proporcionar uma compreensão clara e uma transmissão fácil de seu conteúdo no meio científico; e (iii) estar inserida num paradigma específico, de modo a apresentar uma sólida base teórica.⁸⁰ Para que uma definição de vida seja considerada universal, é preciso que esta apresente conceitos genéricos, capazes de abranger todas as possíveis formas de vida e não apenas a vida da maneira como a conhecemos na Terra - baseada em carbono, DNA, proteínas etc. A coerência dos conceitos de vida com os conceitos já existentes nas áreas da biologia, física e química modernas é essencial; afinal, esta definição deve fazer parte da ciência e, para isso, precisa ser compatível com esta. Além de apresentar base científica, uma definição de vida precisa ser bem organizada, com conceitos claros e bem definidos, de forma que possam ser facilmente transmitidos e compreendidos por todos. E, finalmente, o fato de estar inserida em um paradigma específico evita que esta definição se torne mais uma lista de características; afinal,

⁷⁸ Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁷⁹ Bedau (1996).

⁸⁰ Emmeche (1997).

as características apresentadas serão apenas aquelas que se mostram relevantes à luz do paradigma.

Na medida em que a tarefa de definir ‘vida’ é entendida em termos da explicitação das relações deste conceito com os demais conceitos incluídos em um paradigma (ou paradigmas) da biologia teórica, observando-se os requisitos discutidos acima, torna-se mais fácil levar a cabo essa tarefa, em comparação com a simples proposição de listas de características. Assim, é possível contrapor-se à visão comum no campo da biologia de que definir vida é muito difícil e provavelmente inútil para o crescimento do conhecimento biológico. Como propõem Emmeche e El-Hani,

Na medida em que não se está buscando as propriedades essenciais dos sistemas vivos, não se trata de descobrir alguma força ou substância especial que caracterize a vida e, tampouco, de propor um conjunto de propriedades cruciais para a classificação de um sistema como vivo, mas apenas de identificar propriedades que dêem significado ao conceito ‘vida’ à luz de uma rede paradigmática de conceitos.⁸¹

Ao deixar-se de lado o procedimento de listar características, concebendo-se a tentativa de definir vida em termos das relações desse conceito com os demais conceitos que são parte de um ou mais paradigmas da biologia, pode-se perceber que não apenas é possível definir vida como já existem na biologia pelo menos três definições de vida teoricamente satisfatórias, à luz dos requisitos apresentados acima. Estas definições são encontradas na teoria da autopoiese, na biologia evolutiva neodarwinista e na biossemiótica.⁸²

⁸¹ Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁸² Emmeche (1997), Emmeche e El-Hani (1999, no prelo).

Capítulo 3

Definições de Vida

1. Autopoiese

A definição de vida na qual os seres vivos são considerados sistemas fechados de organização circular, onde cada componente que faz parte desta organização é produzido e mantido por ela, foi desenvolvida no final da década de 1960, quando o neurocientista Humberto Maturana buscava solucionar duas questões importantes surgidas a partir de sua atividade profissional: Qual seria a organização dos seres vivos e o que aconteceria no fenômeno da percepção?⁸³

Nesta época, ele trabalhava na Escola de Medicina da Universidade do Chile em Santiago, onde realizava duas atividades diferentes: ensinava biologia teórica, mostrando aos estudantes de medicina aspectos da organização dos sistemas vivos e teorias sobre a origem da vida e realizava pesquisa aplicada na área de neurofisiologia.⁸⁴

Em suas aulas sobre a vida, Maturana observou que a principal questão colocada pelos alunos dizia respeito a qual ou quais propriedades seriam inerentes aos seres vivos, diferenciando-os dos objetos inanimados. Seus alunos questionavam algo que ele mesmo sempre perguntava a si próprio, não tendo ainda encontrado uma resposta: Qual seria a organização dos seres vivos? De forma concomitante, uma outra questão importante surgia a partir de suas atividades de pesquisa no laboratório de neurofisiologia, onde realizava um estudo sobre as formas e cores na visão dos pássaros, em parceria com Samy Frenk. Neste estudo, eles buscavam compreender o que aconteceria no fenômeno da percepção da cor. Assim como havia feito em estudos anteriores com sapos, Maturana assumia uma situação cognitiva clara e definida, na qual existia uma realidade absoluta, externa ao animal e independente deste, que poderia ser percebida e utilizada pelo animal de forma que este pudesse desencadear um comportamento adequado para cada situação.⁸⁵ No entanto, o trabalho com pássaros apresentou dados completamente novos, que levaram Maturana e

⁸³ Maturana e Varela (1973).

⁸⁴ Maturana e Varela (1973).

Frenk a desenvolverem uma opinião bastante diferente a respeito da cognição. Eles chegaram à conclusão de que a relação da retina dos pássaros com os estímulos físicos externos não era o principal fator a ser observado em seus estudos, e sim a relação das atividades da retina com as experiências de cor destes animais.⁸⁶ A percepção não poderia ser vista como a representação de uma realidade externa, mas como a criação contínua de novas relações dentro da rede neural. Desta forma, as atividades do sistema nervoso seriam determinadas pelo próprio sistema nervoso e não pelo ambiente externo - o sistema nervoso seria uma rede fechada de interações neuronais⁸⁷:

Minhas investigações sobre a percepção da cor me levaram a uma descoberta que foi extraordinariamente importante para mim: o sistema nervoso opera como uma rede fechada de interações, nas quais cada mudança das relações interativas entre certos componentes sempre resulta numa mudança das relações interativas dos mesmos ou de outros componentes.⁸⁸

Após esta descoberta, Maturana compreendeu que poderia responder às duas questões da mesma maneira. Ele supôs que o sistema nervoso apresentaria uma organização circular, na qual os componentes que constituíam este sistema seriam produzidos e mantidos pelo próprio sistema, como uma totalidade. E acrescentou que, assim como o sistema nervoso, todos os sistemas vivos também apresentariam uma organização circular fechada. O fato de os organismos serem considerados sistemas fechados, no entanto, não significa que eles não apresentem relações com o ambiente externo. A rede de componentes correspondentes aos sistemas vivos é fechada em termos organizacionais mas aberta em termos materiais, ou seja, ela troca matéria e energia com o ambiente externo.⁸⁹

Com a colaboração do neurocientista Francisco Varela, que fora seu aluno, Maturana criou a palavra 'autopoiese' (que significa autocriação) para denominar sua teoria da organização dos seres vivos. Como resultado da parceria entre estes cientistas, foi desenvolvido um ensaio onde eles mostraram que o que os interessava no estudo dos seres

⁸⁵ Maturana e Varela (1973).

⁸⁶ Maturana e Varela (1973).

⁸⁷ Maturana e Varela (1973).

⁸⁸ Maturana, citado por Capra (1996).

⁸⁹ Emmeche e El-Hani (no prelo).

vivos era sua organização e que a autopoiese nada mais era que um padrão geral de organização comum a todos os seres vivos.⁹⁰

É possível encontrar, portanto, uma definição de vida na teoria da autopoiese, que foi deliberadamente criada por Maturana e Varela para responder à questão ‘O que é vida?’ e satisfaz os requisitos apresentados anteriormente: Um sistema vivo é uma unidade fechada em termos organizacionais, na medida em que é uma rede de componentes na qual os componentes produzem a própria rede (e os limites da rede) que, por sua vez, os produz. Desse modo, o atributo definidor da vida, no contexto paradigmático da teoria da autopoiese, é sua organização circular.

2. Biologia Evolutiva Neodarwinista

A capacidade dos seres vivos de produzirem cópias de si mesmos, mantendo suas características genéticas básicas através das gerações e de, ao mesmo tempo, sofrerem modificações genéticas advindas dos processos de mutação e/ou recombinação, evoluindo com o passar do tempo, são a base da biologia evolutiva neodarwinista. Este paradigma da biologia é atualmente o mais aceito por cientistas para explicar a diversidade de seres vivos encontrada no nosso planeta. Mettler e Gregg, em seu livro “Genética de Populações e Evolução”, exemplificam essa posição, quando afirmam que, desde os agregados pré-celulares primitivos de moléculas orgânicas até os organismos multicelulares altamente complexos e extremamente integrados dos dias atuais, a evolução, e mais especificamente a seleção natural, tem sido a força modeladora da vida.⁹¹ A definição da vida como a seleção natural de replicadores aparece de modo implícito na biologia evolutiva neodarwinista, podendo ser facilmente colocada de forma explícita, de modo a tornar-se aceitável para a maioria dos biólogos. Um exemplo é encontrado na definição de vida de Maynard Smith, de acordo com a qual a vida pode ser caracterizada pela presença daquelas propriedades que são necessárias para garantir a evolução por seleção natural, ou seja, “entidades com as propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas e entidades que não apresentam uma ou mais destas propriedades não o são”.⁹² Emmeche, por sua vez, define vida no contexto da biologia evolutiva neodarwinista da seguinte maneira: A vida é uma

⁹⁰ Capra (1996).

⁹¹ Mettler & Gregg (1973).

⁹² Maynard Smith (1986).

propriedade de populações de entidades que (1) são capazes de autoreprodução; (2) herdam características de seus predecessores por um processo de transferência de informação genética e, assim, de características hereditárias; (3) apresentam variação em virtude de mutações aleatórias; e (4) têm as chances de deixar descendentes determinadas pelo sucesso de sua combinação de propriedades (herdadas como genótipo e manifestas como fenótipo) nas circunstâncias ambientais nas quais vivem (seleção natural).⁹³ Tratam-se de definições compatíveis com os requisitos discutidos anteriormente, nas quais o conceito de ‘vida’ é inserido na rede de conceitos da biologia evolutiva neodarwinista, provavelmente de uma maneira satisfatória para a maioria dos biólogos, acostumados a considerar a vida como linhagens de organismos conectados por processos de reprodução e seleção.⁹⁴ Com relação a certos termos utilizados nesta definição, como ‘genótipo’ e ‘fenótipo’, é importante salientar que estes não implicam necessariamente a idéia de genes constituídos por DNA ou organismos formados por células, devendo ser entendidos como referências a quaisquer tipos de replicadores e interagentes, visto que é necessário manter o requisito da universalidade da definição.⁹⁵ O termo ‘replicador’, originalmente cunhado por Richard Dawkins⁹⁶, se refere a qualquer entidade que preserva sua estrutura diretamente por meio da replicação, enquanto o termo ‘interagente’, proposto por David Hull, diz respeito às entidades que interagem como um todo com o ambiente, cujo sucesso adaptativo, frente às pressões seletivas com as quais se defrontam, determinam as chances de os replicadores passarem cópias para as próximas gerações.⁹⁷ A relação entre interagente e replicador é de enorme importância, visto que, quanto maior for o sucesso relativo do interagente (organismo) do qual um conjunto de replicadores é parte, em relação aos outros interagentes com os quais ele compete por recursos, maiores serão as chances de ele deixar descendentes e, com isso, dos replicadores em seu interior passarem cópias de si mesmos para a próximas gerações.⁹⁸ Estas entidades são indissociáveis para o processo evolutivo, visto que este é um processo de seleção exatamente por causa da ação recíproca da replicação da informação genética e da interação

⁹³ Emmeche (1997).

⁹⁴ Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁹⁵ Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁹⁶ Dawkins (1979).

⁹⁷ Hull (1981), citado por Emmeche e El-Hani (no prelo).

⁹⁸ Emmeche e El-Hani (no prelo).

dos organismos com o meio ambiente.⁹⁹

3. Biossemiótica

A biossemiótica é um paradigma novo da biologia teórica, que busca definir a vida como um fenômeno baseado não apenas na organização das moléculas mas também na comunicação de signos na natureza.¹⁰⁰ Este paradigma surgiu a partir da necessidade de uma base teórica adequada para a explicação de termos oriundos da teoria da comunicação, que são utilizados frequentemente na descrição de fenômenos biológicos nos seus vários níveis de organização, como, por exemplo, ‘código’, ‘processamento de informações’, ‘comunicação’, ‘intercâmbio e interpretação de signos’. Autores como Stuart e Sarkar, de sua parte, consideram que o uso desses termos na biologia corresponde à introdução de metáforas estranhas a esta ciência, podendo conduzir a uma visão errônea da explicação em campos como a biologia molecular.¹⁰¹ Desse modo, seria mais apropriado abandonar esses termos. Os biossemiotistas, por outro lado, se propõem a desenvolver uma base adequada para o uso dessas metáforas, que consideram um elemento importante da explicação biológica, através das ferramentas conceituais da biossemiótica. Consequentemente, o foco de atenção da biossemiótica não está na seleção de replicadores ou no fechamento operacional de um sistema autopoietico mas nas relações mediadas por signos e nos interpretantes (significados) de vários agentes semióticos em todas as escalas biológicas.¹⁰² Emmeche define vida, de um ponto de vista biossemiótico, como a interpretação funcional de signos em sistemas materiais auto-organizados.¹⁰³ Num trabalho mais recente, Emmeche e El-Hani reinterpretam essa definição, colocando a vida como uma propriedade de sistemas materiais auto-organizados capazes de utilizar informação de maneira a realizar funções favoráveis à sua adaptação e sobrevivência.¹⁰⁴ Para compreender melhor as relações entre signos e interpretantes, pode tomar-se como base a teoria dos signos proposta por Charles Sanders Peirce. De acordo com Peirce, um signo é algo que representa para alguém alguma outra coisa em algum de seus aspectos ou capacidades. O signo é constituído por um conjunto de relações, podendo ser

⁹⁹ Emmeche e El-Hani (no prelo).

¹⁰⁰ Emmeche (1998), Emmeche e El-Hani (no prelo).

¹⁰¹ Stuart (1985), Sarkar (1996), citados por Emmeche e El-Hani (no prelo).

¹⁰² Emmeche e El-Hani (no prelo).

¹⁰³ Emmeche (1998).

¹⁰⁴ Emmeche e El-Hani (no prelo).

representado por um triângulo semiótico (Figura 1) que apresenta como elementos o veículo do signo ou, nos termos de Peirce, o representamen; o significado ou, em Peirce, o interpretante; e o referente ou objeto. Nesse conceito triádico de signo, a relação entre o veículo do signo (representamen) e o referente (objeto) é indireta, sendo mediada pelo significado (interpretante). É importante fazer uma distinção entre o intérprete, que é o organismo que interpreta o signo, e o interpretante, o efeito do signo sobre o organismo, que pode ser uma idéia, o desencadeamento de um processo, uma ação específica etc. Nesta relação, quando se tem em vista os sistemas linguísticos humanos, o referente passa a ser um objeto qualquer (material ou imaginário) que através do representamen é ‘carregado fisicamente’ para a mente e interpretado de modo a adquirir um significado na mente do intérprete.¹⁰⁵ Como exemplo biológico do signo como uma relação triádica, temos a distinção, pelo sistema imunológico, entre uma célula própria do organismo e uma célula estranha a este. Neste caso, o objeto ou referente é a própria célula que deve ser classificada como própria ou estranha ao organismo. O veículo do signo ou representamen é o conjunto de moléculas na superfície da célula que permite seu reconhecimento como uma célula própria ou estranha ao organismo. E o interpretante corresponde ao significado daqueles sinais moleculares para os sistemas de reconhecimento das células do sistema imunológico, estabelecendo uma ligação entre a presença daquele conjunto de moléculas na superfície celular e a natureza da célula (própria ou estranha ao organismo).

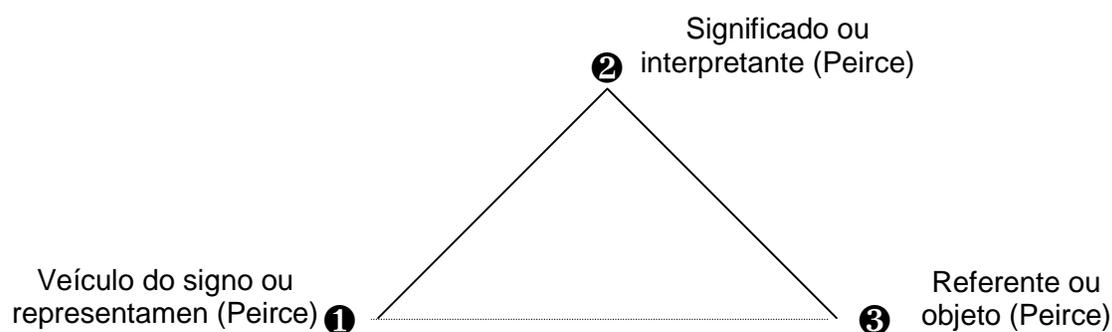


Figura 1: O triângulo semiótico
(adaptado de Nöth, 1990)

A definição de vida como um fenômeno semiótico no entanto, ainda apresenta um problema a ser resolvido. Por considerar que a informação (signos ou significado) é

¹⁰⁵ Emmeche e El-Hani (no prelo).

conceitualmente primária em relação aos processos semióticos, enquanto organismos, metabolismo, replicação e evolução seriam secundários, a biossemiótica gera um questionamento importante a respeito da presença dos signos na natureza. Será que os signos poderiam estar presentes na natureza independentemente da cultura humana? Existiria um significado original para os signos como parte natural de sistemas físicos, de forma que estes não dependessem apenas do significado atribuído pelo observador?

Capítulo 4

Discussão e Conclusão

Após termos examinado três conceitos de vida diferentes, cuja significação se estabelece nos contextos paradigmáticos da teoria da autopoiese, da biologia evolutiva neodarwinista e da biossemiótica, podemos tratar do objeto central dessa monografia: A idéia de que a Terra é um ser vivo, sustentada na hipótese Gaia, pode ser considerada aceitável, à luz de alguma (ou algumas) dessas definições de vida? Talvez seja difícil imaginar que uma hipótese que considera o planeta Terra como um planeta vivo possa apresentar algo de científico. Ainda mais quando, conforme comenta Schneider, esta é interpretada das mais diferentes maneiras e com os propósitos mais diversos, como no caso, por exemplo, de empresas que buscam justificativa para a poluição que causam à natureza (afinal, sendo a biosfera capaz de manter a homeostase planetária, a poluição em nada alteraria esse equilíbrio), ou de ‘românticos’ que extrapolam a idéia de que a biosfera, a atmosfera terrestre, os oceanos e o solo formariam um sistema ativo de controle homeostático planetário para a idealização da unidade planetária como uma fórmula para a salvação da humanidade.¹⁰⁶ É claro que, por ser uma hipótese bastante ampla, que coloca todos os seres vivos, inclusive o homem, como co-responsáveis pela dinâmica planetária, é quase impossível não se fazer certa extrapolação no sentido, por exemplo, de nossa contribuição e de nosso papel nessa dinâmica. Afinal, o próprio Lovelock afirma que um sistema geofisiológico sempre começa com a ação de um organismo individual que, caso seja benéfica, poderá difundir-se até acabar em um altruísmo global; caso contrário, a espécie causadora deste dano estará desfavoravelmente sentenciada, mas a vida continuará.¹⁰⁷ No entanto, essas interpretações e utilizações da hipótese Gaia nos afastam de suas proposições nucleares; afinal, o que Lovelock procurou explicitar em sua hipótese foi a noção da biosfera como um sistema de controle adaptativo que mantém a Terra em homeostase¹⁰⁸ e é esta noção que será utilizada na busca de analogias com os conceitos de vida como autopoiese, como seleção natural de replicadores e como um fenômeno

¹⁰⁶ Schneider e Boston (1993).

¹⁰⁷ Lovelock (1988). Essa visão não escapa, contudo, de problemas conceituais, como o da significação e consistência da proposição de um ‘altruísmo global’.

¹⁰⁸ Lovelock (1990).

semiótico. Um outro aspecto que será analisado é o da relação das categorias teleológicas discriminadas por Mayr com a hipótese Gaia, de modo a esclarecer o tipo de explicação teleológica que pode ser compatível com esta hipótese.

Ao considerarmos a vida como a capacidade de um organismo de evoluir com o passar das gerações, mantendo uma identidade genética, torna-se difícil considerar a Terra como um sistema vivo. A evolução biológica apresenta uma natureza variacional e populacional.¹⁰⁹ Não se considera que cada organismo evolua individualmente, mas que populações de organismos sofram um contínuo processo de evolução. Apesar do cosmos apresentar inúmeros planetas, a Terra é única em todo o sistema planetário – não existe uma população de planetas Terra. Poderíamos até considerar que esta evolui com o tempo como um organismo único; afinal, a homeostase planetária proposta por Lovelock não implica um planeta estagnado, mas, pelo contrário, a Terra estaria sofrendo constantes modificações de forma a manter um estado de equilíbrio. No entanto, não se pode considerar que este tipo de evolução seja análogo ao tipo de evolução observado nos sistemas biológicos. Trata-se de um processo transformacional, no qual uma entidade única apresenta uma série de estágios de transformação.¹¹⁰ Além disso, a Terra também não apresenta uma identidade genética nem a capacidade de reproduzir-se. Sendo assim, é evidente que, de acordo com essa definição, o planeta Terra não pode ser considerado um ser vivo.

Considerar a Terra como um sistema vivo à luz do conceito de vida proposto por Emmeche, no contexto da biossemiótica, é também bastante difícil. Como já foi dito anteriormente, para os biossemiotistas, a vida corresponde à capacidade de interpretação funcional de signos, com os seres vivos sendo capazes de utilizar informação de modo a realizar funções favoráveis à sua adaptação e sobrevivência. Seria difícil conceber, nesse caso, quais seriam os sistemas de reconhecimento e interpretação de signos utilizados pelo planeta como um todo, que não fossem aqueles mesmos empregados pelos organismos que compõem a biosfera, propriamente qualificados como ‘vivos’.

Um exemplo que mostra a capacidade dos seres vivos de interpretar signos é a comunicação que ocorre em grupos de animais para sinalizar a presença de um predador ou

¹⁰⁹ Levins e Lewontin (1985).

de situações de perigo para o grupo. É o caso dos guinchos emitidos por babuínos para sinalizar a presença de uma cobra nos arredores. Ao inserir esta ação no triângulo semiótico, o predador (a cobra) é o referente (ou objeto), o veículo do signo (ou representamen) é o guincho emitido por um dos babuínos e o interpretante (ou significado) corresponde à presença de um perigo próximo para os intérpretes (os babuínos). Observa-se que este exemplo envolve, além da interpretação de signos, uma noção de propósito; afinal, o babuíno emite um sinal de alerta com o propósito de avisar aos demais animais de seu grupo da presença de um predador. Esta forma de propósito poderia ser classificada, dentre as quatro categorias distinguidas por Mayr, como um processo teleonômico, visto que implica um direcionamento para um dado objetivo, é orientado por informação interna ao animal e depende da existência de algum ponto final antevisto. Na explicação teleonômica, o antecedente é descrito como um contexto que requer do grupo de animais a ação de emitir sinais de alerta para que uma finalidade se cumpra, a de sua sobrevivência. Agora imaginemos, para fins do argumento, que o planeta Terra também apresentasse a capacidade de interpretar signos. Utilizemos como exemplo a seguinte definição de Gaia proposta por Lovelock:

A atmosfera terrestre é mais que meramente anômala; ela aparece para ser um estratagema constituído especificamente para um conjunto de propósitos.¹¹¹

Essa definição envolve, portanto, uma noção de propósito; afinal, a biosfera estaria atuando de forma a modificar a composição atmosférica com a finalidade de manter a homeostase do planeta. O propósito neste exemplo, ao contrário do exemplo anterior utilizando seres vivos, estaria classificado, de acordo com as categorias de teleologia propostas por Mayr, como um processo teleomático ou uma teleologia cósmica, na medida em que o planeta não apresenta informação interna a ele próprio, como no caso de um processo teleonômico. No primeiro caso, não se poderia afirmar que a Terra é um sistema vivo, uma vez que um processo teleomático ocorre apenas em função de leis físico-químicas. No segundo caso, estaríamos comprometendo-nos com uma visão incompatível com a biologia contemporânea, caracterizada pela crença na existência de uma força

¹¹⁰ Levins e Lewontin (1985).

¹¹¹ Lovelock e Margulis (1974), citados por Kirchner (1993).

imane no mundo orientando sua evolução rumo a um objetivo final ou a uma perfeição cada vez maior. A interpretação mais consistente da hipótese Gaia parece ser uma na qual a homeostase planetária é resultado de propriedades emergentes da relação entre a biosfera e o meio ambiente¹¹², sem que a noção de uma teleologia cósmica esteja envolvida. Sabemos que a hipótese de Lovelock coloca a biosfera não como fator determinante da homeostase planetária, mas como fator imprescindível para que esta ocorra. A auto-regulação planetária nada mais seria do que um resultado das complexas relações, envolvendo um grande número de alças de retroalimentação, entre a biosfera e o mundo físico. Qual seria, então, a melhor interpretação do componente teleológico da hipótese Gaia? Considerando-se os argumentos anteriores, os processos teleomáticos, nos quais um fim é alcançado como consequência estrita de leis físicas, de maneira passiva e automática, aparecem como a possibilidade mais forte. No entanto, essa interpretação priva a hipótese Gaia de significado, na medida em que exclui a participação da biosfera. Apesar de fatores físicos associados à atmosfera, aos oceanos e ao solo, por exemplo, desempenharem um papel na hipótese Gaia, a proposição central dessa hipótese consiste na necessidade de uma constante interação desses agentes físicos com a biosfera. Assim, a interpretação mais adequada parece ser uma na qual o componente teleológico proposto na hipótese decorre de uma relação entre processos teleonômicos observados em organismos e processos teleomáticos que têm lugar no planeta, de tal modo que o direcionamento destes últimos é modificado pelas ações dos organismos. Pode ser, no entanto, que a hipótese Gaia, assim interpretada, se torne trivial, no sentido discutido por Kirchner.¹¹³ É possível concluir desta análise que a noção de propósito envolvida na hipótese Gaia provavelmente não se insere em nenhuma das categorias propostas por Mayr, apresentando-se com características intermediárias entre processos teleonômicos e teleomáticos. É importante notar, no entanto, que, tendo sido excluída uma interpretação no sentido de uma teleologia cósmica, a capacidade de auto-regulação do planeta Terra se mostra um fenômeno teleológico possível de ser estudado de forma científica.

Como último conceito de vida a ser analisado, temos o da vida como um sistema autopoiético. Esse conceito apresenta como principal atributo definidor dos seres vivos sua

¹¹² Lovelock (1991).

organização dos seres vivos como sistemas fechados capazes de auto-regulação. Um ponto em comum entre o conceito da vida como um sistema autopoietico e a hipótese Gaia reside na proposta de Lovelock de que o planeta Terra seria capaz de auto-regulação, mantendo-se em um estado de homeostase. Seria possível pensar, nestes termos, no planeta Terra como uma rede de componentes na qual os componentes produzem a própria rede que, por sua vez, os produz. Esta analogia entre a hipótese Gaia e a teoria da autopoiese já foi observada por alguns autores, como, por exemplo, Margulis e Capra, que chegaram a afirmar que a hipótese Gaia não seria nada mais que um importante exemplo de sistema autopoietico.¹¹⁴ Sendo assim, se considerarmos coerente a afirmação desses autores e aceitarmos que a Terra, conforme descrita na hipótese Gaia, possa ser classificada como um modelo de autopoiese, será possível concebermos nosso planeta como um ser vivo, um sistema delimitado apresentando um processo de auto-regulação. Gaia seria um gigantesco sistema autopoietico. No entanto, pode-se questionar se há outros exemplos de sistemas autopoieticos além dos biológicos.¹¹⁵ A caracterização da Terra como um sistema autopoietico vem somar-se, na verdade, a vários outros pontos importantes ainda em discussão na hipótese Gaia. A hipótese de que os seres vivos estariam agindo em sincronicidade de forma a manter um equilíbrio no planeta ainda não apresenta apoio empírico suficiente. Também ainda é discutido o que poderia ser considerado como o equilíbrio planetário. A explicação do equilíbrio como a capacidade de manter-se no planeta as condições físicas necessárias para a manutenção da biosfera, como Kirchner comenta, é insatisfatória, visto que existe um enorme diversidade de seres vivos com requisitos diferentes e muitas vezes conflitantes de sobrevivência. Em suma, apesar de a teoria da autopoiese fornecer o único dos conceitos de vida analisados neste trabalho que apresenta alguma compatibilidade com a idéia do planeta Terra como um ser vivo, seria prematuro concluir que o nosso planeta poderia apresentar vida. Seja como for, a afirmação da existência de uma auto-regulação planetária parece ser consistente com o discurso científico, enquanto a qualificação da Terra como um ser vivo é dispensável em sua formulação. A auto-regulação planetária não implica necessariamente um planeta vivo.

¹¹³ Kirchner (1993).

¹¹⁴ Capra (1996), Margulis (1986). Capra afirma que a hipótese Gaia é uma descoberta iluminadora e, talvez, o mais surpreendente e belo exemplo conhecido de sistema de auto-organização.

¹¹⁵ Fleischaker (1988), citado por Emmeche (1997).

Pode-se concluir, então, que o conteúdo empírico e a testabilidade da hipótese Gaia seriam mais propriamente enfatizados, demonstrando-se à comunidade científica a pertinência de testá-la, se proposições como a de que a Terra é viva, uma hipótese auxiliar extremamente controversa, patentemente incompatível com dois dos conceitos de vida examinados nesse trabalho, fossem separadas das proposições nucleares da hipótese.

Referências Bibliográficas

- BEDAU, M. A. 1996. The nature of life, in: BODEN, M. A. (Ed.). **The Philosophy of Artificial Life**. Oxford: Oxford University Press. p. 332-357.
- CAPRA, F. 1996. **A Teia da Vida**. São Paulo: Cultrix.
- DAWKINS, R. 1979. **O Gene Egoísta**. Belo Horizonte: Itatiaia/EDUSP.
- EL-HANI, C. N. 1995. **O Insustentável Peso dos Genes: A Persistência do Determinismo Genético na Mídia e na Literatura Científica**. Salvador: FAGED-UFBA. Dissertação de Mestrado. 170pp.
- EL-HANI, C. N. 1997. Explicações causais do desenvolvimento: são os genes suficientes? **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, série 3, v. 7, n. 1, p.121-167.
- EL-HANI, C. N. 2000. **Níveis da Ciência, Níveis da Realidade: Evitando o Dilema Holismo/Reduccionismo no Ensino de Ciências e Biologia**. São Paulo: FE-USP. Tese de Doutorado. 377pp.
- EL-HANI, C. N., PEREIRA, A. M.. 1999a. Reduccionismo ou holismo? Desperguntando a questão. **Ideação** v. 3, n. 1, p.69-100.
- EL-HANI, C. N., PEREIRA, A. M. 1999b. A survey of explanatory methodologies for science teaching, I. reductionism, antireductionism and emergence, in: LENTZ, L., WINCHESTER, I. (Eds.). **Toward Scientific Literacy: The History & Philosophy of Science and Science Teaching, Proceedings of the Fourth International Conference - Calgary, Alberta, Canada - June 21-24, 1997**. Calgary: Faculty of Education, University of Calgary. Compact Disk Format. p. 230-240.
- EMMECHE, C. 1997. **Defining Life, Explaining Emergence**. On-line paper: <http://www.nbi.dk/~emmeche/>.
- EMMECHE, C. 1998. Defining life as a semiotic phenomenon. **Cybernetics & Human Knowing** v. 5, n. 1, p.3-17.
- EMMECHE, C., EL-HANI, C. N. 1999. **Definindo Vida, Explicando Emergência**. Série Ciência e Memória, CNPQ/Observatório Nacional, Coordenação de Informação e Documentação. n° 02/99.
- EMMECHE, C., EL-HANI, C. N. (no prelo). Definindo vida, in: EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. (Orgs.). **O Que é Vida? Para Entender a Biologia do Século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- KIRCHNER J.W. 1993. The Gaia hypotheses: Are they testable? Are they useful?, in: SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. **Scientists on Gaia**. Cambridge-MA: MIT Press. pp. 38-46.
- LEVINE, A., SOBER, E., WRIGHT, E. O. 1987. Marxism and methodological individualism. **New Left Review** n 162, p. 67-84.
- LEVINS, R., LEWONTIN, R. 1985. **The Dialectical Biologist**. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- LOVELOCK, J. E. 1988. A Terra como um organismo vivo, in: WILSON, E.O. (org). **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- LOVELOCK, J. E. 1990. Hands up for the Gaia hypothesis. **Nature**. v. 344, n 6262, p.100-102.
- LOVELOCK, J.E. 1991. Gaia: A planetary Emergent Phenomenon, in: Thompson W.I. **Gaia 2: Emergence The New Science of Becoming**. New York: Lindisfarne Association Inc.
- LOVELOCK, J.E. 1992. A numerical model for biodiversity. **Phil. Trans. Royal. Soc. London Ser. B** n 338, p.383-391.

- LOVELOCK, J.E. 2000. Gaia – Um modelo para a Dinâmica Planetária e Celular, in: THOMPSON W. I. **Gaia: Uma Teoria do Conhecimento**. São Paulo: Gaia. pp.77-90.
- LOVELOCK, J.E., MARGULIS, L. 1974. Biological modulation of the earth's atmosphere. **Icarus** n 21, p.471-489.
- LOVELOCK, J. E & WATSON, A. J. 1982. The regulation of carbon dioxide and climate: Gaia or geochemistry. **Planet and Space Science** v. 30, n. 8, p. 795-802.
- LUIZI, P. L. 1998. About Various Definitions of Life. **Origins of Life and Evolution of the Biosphere** 28: (4-6) 613-622
- MAYR, E. 1982. **The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution and Inheritance**. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MAYR, E. 1988. **Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist**. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- MARGULIS L. 2000, Os Primórdios da Vida, in: THOMPSON W. I. **Gaia: Uma Teoria do Conhecimento**. São Paulo: Gaia. pp. 91-119.
- MARGULIS, L., SAGAN, D. 1986. **Micro-Cosmos**. Rio de Janeiro: Edições 70 (Brasil).
- MATSUURA, O.T. (no prelo). Vida extraterrestre, in: EL-HANI, C. N. & VIDEIRA, A. A. P. (Orgs.). **O Que é Vida? Para Entender a Biologia do Século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- MATURANA, H. R., VARELA, J. 1973. **Autopoiesis and Cognition**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- METTLER, L.E., GREGG, T.G. 1973. **Genética de Populações e Evolução**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- NIJHOUT, H. F. 1990. Metaphors and the role of genes in development. **Bioessays** v. 12, n. 9, p. 441-446.
- NÖTH, W. 1990. **Handbook of Semiotics**. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- OYAMA, S. 1985. **The Ontogeny of Information: Developmental Systems and Evolution**. Cambridge: Cambridge University Press.
- SAHTOURIS, E. 1991. **Gaia: Do Caos ao Cosmos**. São Paulo: Interação.
- SCHNEIDER, S. H. & BOSTON, P. J. 1993. Preface, in: **Scientists on Gaia**. Cambridge-MA: MIT Press.
- SMITH, K. C. 1994. **The Emperor's New Genes: the Role of the Genome in Development and Evolution**. Durham: Duke University. Tese de Doutorado.
- TAYLOR, C. 1964. **The Explanation of Behaviour**. London: Routledge & Kegan Paul.
- VIEYRA, A., SOUZA-BARROS, F. (no prelo). Teorias da origem da vida no século XX, in: EL-HANI, C. N., VIDEIRA, A. A. P. (Orgs.). **O Que é Vida? Para Entender a Biologia do Século XXI**. Rio de Janeiro: Relume Dumará.