

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
FEIRA DE SANTANA.
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS.**

**GAIA E CIÊNCIA:
UMA ANÁLISE DA CIENTIFICIDADE DA TEORIA GAIA DE ACORDO
COM A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA DE LAKATOS.**

Marina de Lima-Tavares

Orientador:
Prof. Dr. CHARBEL NIÑO EL-HANI

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre.

**SALVADOR-BA
2002**

“De nada adianta ao homem conquistar a Lua
se acaba por perder a Terra”.
(Françoise Mauriac)

Agradecimentos

Agradeço

Aos meus pais pelo constante apoio em minhas investidas no mundo acadêmico.

Às minhas irmãs Joana e Luiza por terem me incentivado em todos os momentos e mais uma vez cedido o computador para as minhas horas de trabalho.

Ao meu orientador, amigo e parceiro em vários trabalhos Charbel Niño El-Hani por toda a dedicação que tem dispensado em minha busca por conhecimento desde minha graduação.

Ao professor e coordenador do Mestrado em Ensino Filosofia e História das Ciências Olival Freire Jr. pelo incentivo, disponibilidade em todos os momentos que precisei de seu auxílio e por ter aceitado fazer parte da minha banca de mestrado. Mais uma vez terei o privilégio de ter um trabalho submetido ao seu arbítrio.

Ao professor Paulo Abrantes por ter aceitado participar da minha banca de mestrado.

Ao professor Osvaldo Pessoa Jr. por ter me apresentado ao ‘mundo da física quântica’ e aos sistemas de auto-regulação.

Ao professor Robinson Tenório pelo apoio na elaboração de meu projeto de pesquisa.

Ao professor João Carlos Salles pelas discussões filosóficas em suas aulas.

A Soraia Freaza Lobo, José Luís P. B. Silva e Nelson Bejarano pelo auxílio nas informações sobre os vários compostos químicos que apareceram neste trabalho.

A todos os professores ligados ao mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências pelo envolvimento e dedicação nesse maravilhoso projeto.

Ao senhor Orlando pelo auxílio nas questões burocráticas do mestrado.

A todos os colegas de mestrado que se tornaram meus amigos nos dois anos em que convivemos.

Aos meus amigos que me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos.

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Sumário:

Abstract	1
Resumo	2
Introdução	3
Capítulo I - A Demarcação entre Ciência e Pseudo-ciência e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica	9
Capítulo II – Metodologia	31
1) Critérios para a escolha e obtenção da bibliografia	31
2) Metodologia de análise dos textos	33
(a) Delimitação da(s) versão(ões) da teoria Gaia com sua(s) proposição(ões) nuclear(res) e seu(s) cinturão(ões) protetor(es)	34
(b) Análise do caráter progressivo ou degenerescente da teoria Gaia como um programa de pesquisa	35
(c) Avaliação da científicidade da teoria Gaia numa visão Lakatosiana	36
(d) Avaliação do conteúdo empírico e da testabilidade da teoria Gaia	36
(e) Avaliação do conteúdo empírico corroborado da teoria Gaia	37
Capítulo III - Analisando a científicidade da Teoria Gaia	37
3.1) Os Primeiros Indícios e a Versão Inicial da Teoria Gaia	37
3.2) A Primeira Versão da Teoria Gaia	46
3.3) Evidências empíricas a favor da teoria Gaia: Confirmando Previsões Novas Derivadas da Teoria	100
3.4) A Terra é Viva? Alguns Comentários Adicionais	110
3.5) Metáforas e Gaia	121
3.6) A Teoria Gaia e os Ambientalistas	130
3.7) A Segunda Versão da Teoria Gaia (a partir da década de 1980)	136
3.8) As modificações estruturais da teoria Gaia e sua científicidade	163
Capítulo IV - Conclusão	176
Referências	185

Abstract: Gaia is a recently proposed theory. It was first presented by James Lovelock in the beginnings of the 1970s. The first conjectures that led Lovelock to propose it were made at the 1960s, precisely, when Lovelock worked for NASA (The National Aeronautics and Space Administration of the USA), in collaboration with Dian Hitchcock, in a project that searched for signs of life in other planets, mainly Mars. In 1972, Gaia theory was presented to the scientific community for the first time, in a letter published by the journal *Atmospheric Environment*, ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’. From this time on, Lovelock wrote several papers and books presenting and developing Gaia theory, and searched for empirical results that might support it. In the beginning, however, the ideas associated with Gaia theory were, mostly unknown, and, afterwards, the theory came to be harshly criticized not only on its conceptual aspects but also as regards its own status as a scientific theory. This work aims at discussing the scientific status of Gaia theory, investigating if this theory can be regarded as a scientific research program in Lakatosian terms. For Lakatos, a research program can be said to be scientific if it shows a progressive problemshift, with constant production of excess empirical content and eventual corroboration of at least part of the new predictions derived from the program. A Lakatosian analysis of the versions of Gaia theory presented since the letter ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’ (1972) until Lovelock’s most recent book, *Homage to Gaia: The Life of an independent Scientist* (2001), was performed. We draw the following conclusions from this analysis: (i) Gaia theory appeared in two versions throughout its brief history, one version extending from 1972 to the beginning of the 1980s, and the other, from the 1980s until today; (ii) although the hard core of the theory remained the same (allowing us to individuate it as a single theory, according to Lakatos’ criteria), the protective belt was modified in important claims from the first to the second version; (iii) Gaia theory can be regarded as a scientific theory, according to the methodology of scientific research programmes of Lakatos, as it has shown a progressive problemshift along its history, showing both excess content and eventual corroboration of new predictions derived from it. An argument for the scientific status of Gaia, as we are putting forward in this work, can contribute for the acceptability of the theory among scientists from several branches of knowledge, as well as in science education.

Resumo: Gaia é uma teoria recentemente proposta. Ela foi apresentada pela primeira vez por James Lovelock no início da década de 1970. As primeiras conjecturas que levaram Lovelock a propor esta teoria foram feitas na década de 1960, mais precisamente, quando Lovelock trabalhou na NASA (The National Aeronautics and Space Administration of the USA), em colaboração com Dian Hitchcock, em um projeto que buscava encontrar indícios de vida em outros planetas, principalmente em Marte. Em 1972, a teoria Gaia foi apresentada para a comunidade científica pela primeira vez, em uma carta publicada pela revista *Atmospheric Environment* – ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’. A partir desse momento, Lovelock continuou escrevendo vários artigos e livros apresentando e desenvolvendo a teoria Gaia, assim como procurando por resultados empíricos que pudesse apoiá-la. No começo, contudo, as idéias associadas com a teoria Gaia eram em sua maior parte desconhecidas, e, posteriormente, a teoria passou a ser cruelmente criticada não apenas em seus aspectos conceituais mas também relacionados ao seu próprio estatuto como uma teoria científica. Este trabalho aponta para a discussão do estatuto científico da teoria Gaia, investigando se esta teoria pode ser considerada como um programa de pesquisa científica em termos lakatosianos. Para Lakatos, um programa de pesquisa pode ser visto como sendo científico se ele mostra uma transferência progressiva de problemas, com a constante produção de conteúdo empírico excedente e a eventual corroboração de pelo menos parte das novas previsões derivadas do programa. Uma análise lakatosiana das estruturas da teoria Gaia desde a carta ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’(1972) até o livro mais recente de Lovelock *Homage to Gaia: The Life of an independent Scientist* (2001) foi realizada. Nós chegamos as seguintes conclusões: (i) A teoria Gaia apareceu em duas versões através de sua breve história, uma versão se estendendo a partir de 1972 até o começo da década de 1980, a outra, a partir da década de 1980 até hoje; (ii) embora o núcleo duro da teoria permaneça o mesmo (permitindo-nos individualizá-la como uma teoria única, de acordo com o critério de Lakatos), o cinturão protetor foi modificado em importantes afirmações a partir da primeira para a segunda versão; (iii) a teoria Gaia pode ser considerada como uma teoria científica, de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos, à medida que ela tem mostrado uma transferência progressiva de problemas ao longo da sua história, mostrando tanto conteúdo em excesso quanto corroboração eventual de novas previsões derivadas deste. Um argumento a favor da científicidade da teoria Gaia, como nós estamos colocando para frente nesse trabalho, pode contribuir para a aceitabilidade de teoria entre os cientistas de vários ramos do conhecimento.

Introdução

A ciência é uma forma de conhecimento altamente considerada. Embora critérios externos à ciência, de natureza social, histórica e cultural, influenciem no crescimento do conhecimento científico e na demarcação deste tipo de conhecimento, critérios internos, racionais, também são utilizados para determinar aquilo que pode e aquilo que não pode ser inserido em seu discurso. Esses critérios geralmente envolvem a análise de aspectos como o poder explicativo de uma teoria, a sua capacidade preditional, a sua verificabilidade e o seu potencial heurístico. A demarcação entre o que é e o que não é ciência, no entanto, não é realizada de uma única maneira – diferentes filósofos da ciência desenvolveram critérios distintos para a realização de tal distinção. A metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos é uma teoria da ciência que apresenta um critério de demarcação entre o científico e o não-científico. Lakatos, um discípulo de Popper, estudou a teoria da ciência desenvolvida por este último - o falsificacionismo – e o critério de demarcação proposto nesta teoria. Após várias modificações em proposições do falsificacionismo popperiano, Lakatos desenvolveu a sua própria teoria da ciência, apresentando um critério de demarcação que, assim como o critério falsificacionista, é racionalista. Em sua metodologia dos programas de pesquisa, Lakatos se preocupou com o desenvolvimento das teorias ao longo do tempo e, em particular, com as novidades teóricas e empíricas que estas apresentariam durante sua história. De acordo com a teoria de Lakatos, as teorias só podem ser apreciadas considerando-se as modificações que sofrem ao longo do tempo e, portanto, um programa de pesquisa deve ser pensado como uma série de teorias. A análise de aspectos como o caráter mais progressivo ou degenerescente de uma série de teorias ou programa de pesquisa mostra, segundo Lakatos, se o programa pode ou não ser considerado científico.

A metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos foi a teoria da ciência escolhida para a realização desse trabalho de dissertação, que consiste numa análise da científicidade da teoria¹ Gaia. Esta teoria vem sendo desenvolvida por James Lovelock

¹ Lovelock usa de maneira indiscriminada os termos metateóricos ‘hipótese’ e ‘teoria’ para referir-se a Gaia. Entendemos uma teoria como um sistema ou uma estrutura (Lakatos 1979, Chalmers 1982[1997]), i.e., como

desde a década de 1960, a partir de seus trabalhos de natureza sistêmica, envolvendo a relação entre a biosfera e os fatores ambientais. Em um breve panorama da teoria Gaia, podemos dizer que esta teoria foi desenvolvida por Lovelock a partir de observações de algumas características de auto-regulação do planeta Terra. Uma delas foi a de regulação da composição da atmosfera terrestre, que 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 química. No entanto, a atmosfera terrestre apresenta uma estabilidade que não se limita à química, na medida em que uma situação de instabilidade ou desequilíbrio químico, contrariando todas as probabilidades, se mantém na atmosfera terrestre há um longo período de tempo (Lovelock 1990). Para Lovelock, a melhor explicação para a instabilidade química da atmosfera do planeta Terra seria uma atuação direta da biosfera, que utiliza a atmosfera como fonte de matéria prima e para a liberação de seus resíduos (Lovelock 1990). Tratar-se-ia, assim, de uma estabilidade de origem biológica, e não meramente química. Outra característica do planeta Terra que influenciou no desenvolvimento da teoria Gaia foi a estabilidade da temperatura do planeta desde o surgimento da vida, visto que estudos astronômicos mostraram que o sol apresentou um aumento de luminosidade de aproximadamente 25% desde esta época e que, mesmo com este acréscimo de luminosidade solar, a temperatura do planeta não aumentou, mantendo-se relativamente constante (Lovelock e Watson 1982). Neste caso, Lovelock também atribuiu à biosfera a função de reguladora da temperatura do planeta. A partir destas constatações, Lovelock apresentou como o aspecto principal da teoria Gaia a noção da biosfera como um sistema de controle adaptativo que poderia manter a Terra em homeostase (Lovelock, 1972, p.579).

A teoria Gaia, ao ser inicialmente apresentada para a comunidade científica em uma carta, ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’(1972), enviada por Lovelock para o periódico *Atmospheric Environment*, e em uma série de artigos publicados em colaboração

um conjunto de elementos que estabelecem relações entre si. Os elementos que compõem uma teoria incluem, entre outros, princípios explicativos, leis empíricas, suposições metafísicas, hipóteses, descrições, métodos, técnicas. Uma teoria cumpre o papel de explicar um fenômeno ou padrão observado mediante a elucidação dos mecanismos ou processos responsáveis por sua produção ou causação. Entendemos hipóteses, por sua vez, como tentativas de responder a uma questão ou um problema definido, ou, nas palavras de Campbell (1996), uma “explicação em julgamento”. Nesses termos, parece-nos mais correto considerar Gaia uma teoria, e não uma hipótese (Lima-Tavares & El-Hani, 2001). Assim, utilizaremos neste trabalho o termo ‘teoria’ para

com Lynn Margulis em 1974, teve a maior parte de suas idéias ignorada, começando a ser sujeita a críticas apenas no final da década de 1970 (Lovelock, [1988]1995, p. 31). Algumas dessas críticas, segundo Lovelock ([1988]1995, p. 32), o teriam levado a perceber que Gaia, como uma teoria, ainda estaria necessitando de bases teóricas mais firmes. Caso as críticas a Gaia fossem apenas de natureza conceitual, com o surgimento de questões relacionadas a aspectos pouco fundamentados de Gaia como uma teoria, estaríamos observando uma situação normal e quotidiana na ciência, visto que todo programa de pesquisa científica apresenta seus defensores e críticos, e tal situação é desejável e benéfica, na medida em que, ao tentar responder aos críticos, os defensores de uma teoria tendem a fundamentá-la cada vez melhor, buscando cada vez mais evidências empíricas e argumentos teóricos para sua defesa. No entanto, muitas das críticas direcionadas à teoria Gaia, como, por exemplo, as críticas de James Kirchner (1993), não tinham como objetivo principal discutir aspectos teóricos e/ou empíricos de Gaia, mas questionar o próprio estatuto de Gaia como uma teoria científica e a pertinência ou não da discussão das idéias de Lovelock pela comunidade científica. Com relação à científicidade da teoria Gaia, Lovelock discorda da idéia de que sua teoria não seja científica e afirma que, mesmo parecendo não ser testável em uma primeira impressão, é altamente aberta a investigações experimentais (Lovelock, [1988]1995, p. 42). É verdade que, ao realizarmos uma leitura dos trabalhos de Lovelock, muitas vezes deparamo-nos com aspectos questionáveis em relação ao estado atual do conhecimento científico, como, por exemplo, a idéia de que a Terra é viva, a qual, como o próprio Lovelock admite, está fora da fronteira da credibilidade científica (Lovelock, [1988]1995, p. 3. Ver também Lima-Tavares 2000, El-Hani & Lima-Tavares 2001, Lima-Tavares & El-Hani 2001). No entanto, mesmo apresentando tais aspectos polêmicos para a comunidade científica, os trabalhos de Lovelock também apresentam aspectos de grande interesse para esta comunidade, podendo ser citada como exemplo a proposição do próprio sistema cibernetico de controle, que é uma das idéias principais da teoria, mantendo-se ao longo de todo o seu desenvolvimento. Além disso, é possível observar que, a partir das idéias de Gaia, muitos trabalhos de pesquisa empírica e teórica vêm sendo realizados, produzindo-se um número significativo

referir-se a Gaia, restringindo o uso da expressão ‘hipótese Gaia’ às citações de outros trabalhos, quando não for possível evitá-la.

de novidades quanto ao conhecimento de aspectos relacionados à dinâmica e regulação planetárias. Seria difícil empreender uma análise epistemológica apropriada da teoria Gaia a partir de teorias da ciência como o indutivismo e versões ingênuas do falsificacionismo. Tais análises teriam, respectivamente, os objetivos de buscar apenas indícios comprovativos e por instâncias falsificadoras das proposições centrais da teoria Gaia e, desse modo, não conseguiriam dar conta da diversidade de aspectos que devem ser contemplados para uma compreensão adequada desta teoria e das mudanças que ela sofreu ao longo de sua história. A utilização do critério de demarcação lakatosiano, por sua vez, se afigura mais adequada para uma análise da científicidade da teoria Gaia, visto que, ao enfatizar as modificações que uma teoria sofre em seu processo de desenvolvimento, em vez de procurar uma resposta imediata acerca de sua científicidade através da constatação de sua veracidade ou falseabilidade, possibilita que teorias como Gaia, que apresentam um conteúdo nuclear dificilmente testável sob tais expectativas, sejam devidamente analisadas.

Uma outra característica da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos que se mostra relevante para uma análise da teoria Gaia diz respeito à sua flexibilidade e tolerância com as teorias, particularmente em seus estágios iniciais de desenvolvimento, sem que, com isso, haja perda de racionalidade na avaliação de sua científicidade. Estas características de flexibilidade e tolerância podem ser encontradas tanto no desenvolvimento de um programa de pesquisa como uma série de teorias quanto na heurística positiva, entendida, na teoria da ciência de Lakatos, como um conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como desenvolver e modificar as ‘variantes refutáveis’ do programa de pesquisa e como modificar o cinturão protetor ‘refutável’ (Lakatos, [1978]1995, p. 50). A escolha da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos como marco epistemológico para este trabalho se deve, em suma, à visão de que esta teoria da ciência pode fornecer um referencial heuristicamente poderoso para o tratamento de questões relacionadas à científicidade de teorias novas e controversas, como é o caso da teoria Gaia.

Esta investigação sobre a teoria Gaia e sua científicidade é uma continuação do trabalho que apresentei para a conclusão do curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Esse trabalho ‘*A Terra é viva? Hipótese Gaia e Definições de Vida*’(Lima-Tavares, 2000) consistiu numa investigação epistemológica

sobre a interpretação da Terra como um sistema vivo, no contexto da teoria Gaia. Esta investigação é um elemento importante para a apreciação da científicidade da teoria Gaia, visto que esta interpretação proposta por Lovelock é um dos aspectos mais controversos da teoria, sendo rechaçada pela comunidade científica, de um modo geral, como uma visão animista. Para justificar-se a proposição de que a Terra é viva, é necessário tomar algum conceito de vida como referência. Como não foi encontrado nos trabalhos de Lovelock então analisados qualquer pronunciamento a respeito de qual(is) definição(ões) biológica(s) de vida poderia(m) apoiar a proposição de que nosso planeta é um ser vivo, aparecendo apenas algumas analogias entre a Terra e os sistemas vivos, foram tomadas como base para aquele trabalho três definições de vida encontradas em diferentes paradigmas da biologia teórica: a biologia evolutiva neodarwinista, a teoria da autopoiese e a biossemiótica. A partir destas definições, buscou-se verificar se existiria compatibilidade entre alguma(s) delas e a interpretação da Terra como um ser vivo. Como resultado daquele trabalho, concluiu-se que a idéia de que a Terra é um sistema vivo não é compatível com as definições encontradas na biologia evolutiva neodarwinista e na biossemiótica, podendo ser sustentada, com um certo grau de dúvida, apenas quando a vida é definida como autopoiese (Lima-Tavares 2000). Concluiu-se também que o conteúdo empírico e a testabilidade da hipótese Gaia poderiam ser mais propriamente enfatizados, destacando-se a pertinência de discuti-la e investigá-la cientificamente, se a proposição de que a Terra é viva, uma hipótese auxiliar extremamente controversa, patentemente incompatível com dois dos conceitos de vida examinados naquele trabalho, fosse separada das proposições nucleares da teoria. A hipótese de que a atmosfera, a biosfera, os oceanos e o solo constituem um sistema cibernetico que propicia uma regulação planetária parece ser consistente com o discurso científico, enquanto a controversa qualificação da Terra como um ser vivo parece ser dispensável na formulação da teoria Gaia. A proposição de que há uma auto-regulação planetária não implica necessariamente a interpretação do planeta Terra como um sistema vivo e tem resultado, ao longo da história da teoria Gaia, em uma série de previsões testáveis, que merecem a atenção da comunidade científica.

Neste trabalho de dissertação, foi realizado um aprofundamento da análise da científicidade da teoria Gaia, contemplando elementos que vão além da questão da qualificação da Terra como viva e, inclusive, conduzindo a modificações na própria análise

epistemológica desta qualificação. Esse estudo sobre a científicidade da teoria Gaia pretende contribuir para a aceitabilidade da teoria Gaia nos meios científicos e no Ensino de Ciências. Muitas das proposições apresentadas por Lovelock, como, por exemplo, a idéia de uma biosfera ativa, que não apenas é modificada pelo ambiente, mas se mostra, também, capaz de modificá-lo, propiciando uma auto-regulação planetária, podem ser exploradas tanto por professores quanto por pesquisadores. Para isso, entretanto, é preciso demonstrar a compatibilidade da teoria Gaia com o discurso científico (a este respeito, ver Lima-Tavares & El-Hani 2001). No Ensino Médio por exemplo, professores de Biologia podem utilizar a teoria Gaia como uma ferramenta para propiciar uma compreensão mais integrada de conteúdos muitas vezes apresentados de forma fragmentada e desinteressante, como, por exemplo, as noções básicas de ecologia e os ciclos biogeoquímicos. Além disso, a discussão de um assunto polêmico como a teoria Gaia em sala de aula cria condições para que os estudantes compreendam melhor as dimensões históricas e filosóficas do conhecimento científico e desenvolvam sua capacidade crítica (sobre possíveis contribuições da teoria Gaia para o Ensino de Biologia e o tratamento do tema transversal Meio Ambiente, ver Lima-Tavares & El-Hani 2001).

Esta dissertação se divide em quatro capítulos. O primeiro capítulo, ‘A Demarcação entre Ciência e Pseudo-ciência e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica’, consiste em uma explicação da teoria da ciência desenvolvida por Lakatos, um dos referenciais teóricos fundamentais da investigação. Neste capítulo, também é realizada uma discussão a respeito de alguns dos principais critérios de demarcação da ciência, que aparecem em teorias da ciência como o indutivismo, o falsificacionismo popperiano, o convencionalismo e a própria metodologia dos programas de pesquisa. Aspectos como o problema da demarcação, a visão racionalista da ciência de Popper e Lakatos, e a influência dos trabalhos de Popper no desenvolvimento da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos também são abordados neste capítulo. O segundo capítulo trata da metodologia utilizada para a obtenção e análise do material bibliográfico necessário para a realização da análise da científicidade da teoria Gaia, sendo dividido em duas partes: (1) critérios para a escolha e obtenção da bibliografia a ser analisada; e (2) metodologia utilizada na análise dos textos. O terceiro capítulo, ‘Analizando a Cientificidade da Teoria Gaia’, consiste da apresentação e discussão dos resultados da análise propriamente dita. Neste capítulo, todos

os trabalhos de Lovelock selecionados são analisados de forma crítica e direcionada para a verificação dos aspectos essenciais envolvidos na estruturação de Gaia como um programa de pesquisa. As versões da teoria Gaia, ao longo de sua história, são apresentadas, destacando-se suas proposições nucleares, hipóteses auxiliares, conteúdo excedente (previsões novas) e conteúdo empírico corroborado. Esta análise torna possível verificar se a teoria Gaia sofreu, ao longo de sua história, uma alteração progressiva de problemas, apresentando novidades teóricas e/ou empíricas – o que permitiria a atribuição de um estatuto de teoria científica a ela, de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos. O último capítulo da dissertação consiste nas considerações finais.

Capítulo I

A Demarcação entre Ciência e Pseudo-ciência e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica.

A demarcação entre ciência e pseudo-ciência é uma tema bastante discutido na filosofia das ciências. Popper denomina ‘problema da demarcação’ o problema de estabelecer um critério que nos habilite a distinguir entre as ciências empíricas, de uma parte, e a matemática e a lógica, bem como os sistemas metafísicos, de outra (Popper, [1959]1974, p.35)². Para ele, o problema da demarcação é muito importante, sendo considerado uma das fontes de quase todos os outros problemas da teoria do conhecimento (Popper, [1959]1974, p.35). Na busca de uma proposta para estabelecer um acordo ou uma convenção na ciência, Popper desenvolveu o falsificacionismo, uma teoria da ciência que apresentava um critério de demarcação. Uma convenção ou acordo dessa natureza, segundo Popper, somente seria viável caso os seus interlocutores tivessem um objetivo em comum. Este objetivo, em última análise, seria uma questão de tomada de decisão que iria ultrapassar a discussão racional (Popper, [1959]1974, pp.38-39). O esforço em desenvolver

² Na padronização das referências utilizada neste trabalho, o ano que está entre colchetes é o ano da primeira publicação e o ano que aparece em seguida é a data da edição utilizada.

um critério de demarcação entre ciência e pseudo-ciência, no entanto, não foi mérito único de Popper. Outros filósofos da ciência também se dedicaram ao estudo deste problema.

Na filosofia contemporânea, existem várias metodologias que, em vez de fornecerem um conjunto de regras que permita a resolução de problemas de modo mecânico, apresentam um conjunto de regras para a apreciação de teorias articuladas e disponíveis (Lakatos, [1978]1995, p. 103). Estas metodologias buscam desenvolver regras que sirvam de critérios para decisões sobre a aceitação e rejeição de teorias. Tais regras desempenham dupla função: (1) Funcionam como um código de honestidade científica cuja violação é intolerável; e (2) funcionam como núcleos de programas de investigação historiográfica (Lakatos, [1978]1995, p. 103).

Para Lakatos, um filósofo da matemática e das ciências em geral, a discussão do problema da demarcação entre ciência e pseudo-ciência é de vital relevância social e política (Lakatos, [1978]1995, p. 1). Provavelmente devido à sua história de vida, marcada pela imposição de restrições doutrinárias ao trabalho dos cientistas e filósofos por parte de governos autoritários da Hungria, Lakatos considerava que as interferências ideológicas levavam a uma má ciência (Larvor, 1998, pp. 1, 6, 7). A ciência apenas funcionaria se as idéias fossem julgadas unicamente de acordo com os seus méritos individuais, sendo esta uma condição necessária (mas não suficiente) para livrar a comunidade científica de pressões ideológicas (Larvor, 1998, p. 7). Desse modo, Lakatos procurava assumir uma posição racionalista³ perante a ciência, vendo com horror a posição relativista.⁴ Para ele, o problema central da filosofia da ciência seria o problema de explicitar condições universais sob as quais uma teoria fosse considerada científica (Lakatos, [1978]1995 p.168) e julgar uma teoria com base no número, na fé e/ou na energia vocal dos seus partidários seria aceitar que a verdade é derivada unicamente do poder (Lakatos e Musgrave, 1974) No entanto, segundo Chalmers ([1982]1997, p.144), apesar de desejar defender uma posição racionalista, Lakatos teria fracassado em sua tentativa de oferecer um relato racionalista da

³ De acordo com Chalmers, um racionalista extremado considera que existe um critério único, atemporal e universal com referência ao qual se podem avaliar os méritos relativos de teorias rivais. As decisões e escolhas dos cientistas seriam guiadas por este critério universal e as teorias que se conformassem às exigências do critério universal poderiam ser consideradas verdadeiras, ou aproximadamente verdadeiras, ou provavelmente verdadeiras (Chalmers, [1982]1997, pp. 137-138).

⁴ Para o relativista, as decisões e escolhas feitas por cientistas ou grupos de cientistas são governadas por aquilo a que aqueles indivíduos ou grupos atribuem valor, não existindo um critério universal que dite uma decisão logicamente convincente (Chalmers, [1982]1997, p. 139).

ciência. Para Chalmers, Lakatos realmente teria proposto algo que pretendia ser um critério universal da racionalidade ou científicidade, o qual considerava como uma conjectura testável na história da ciência. No entanto, apesar de alguns dos comentários de Lakatos sugerirem que o seu critério de racionalidade tinha a intenção de orientar a escolha de teorias e mesmo dar regras para eliminar programas de pesquisas e opor-se à poluição intelectual, a sua metodologia seria antes um guia para o historiador do que para o cientista, visto que ela não apresenta orientação para aqueles que têm como objetivo suscitar o crescimento da ciência (Chalmers, [1982]1997, pp.143-144).⁵

Como um estudante de Popper, Lakatos tratou da história recente da filosofia da ciência como um catálogo de tentativas de resolver o problema da demarcação entre o que é e o que não é ciência, considerando como as principais vertentes o indutivismo, o convencionalismo e o falsificacionismo metodológico de Popper (Larvor, 1998, p. 48).

O indutivismo foi uma das metodologias da ciência mais influentes (Lakatos, [1978]1995, p.103). De acordo com Hull (1973), o termo indução cumpriu um papel chave na disputa metodológica entre os filósofos da ciência do século XIX. No entanto, a própria palavra ‘indução’ era utilizada por diferentes filósofos com significados diversos, sendo encontrados significados distintos até mesmo em diferentes trabalhos de uma única pessoa (Hull, 1973, p. 4). Francis Bacon, no século XVII, foi o primeiro a utilizar o termo ‘indução’ com o propósito de desenvolver um método científico, o método indutivo, em substituição ao que Bacon supunha ser o método dedutivo de Aristóteles (Hull, 1973, p. 4). O método indutivo de Bacon, baseado na indução por exclusão completa, começava com uma coleta extensiva de dados, que deveria ser isenta de especulação. Para ele, a melhor maneira de garantir que não houvesse uma especulação prematura seria atribuir o trabalho de coleta de dados a subalternos iletrados (Hull, 1973, p. 21). A coleta extensiva de dados seguida pela indução, segundo Bacon, garantiria a veracidade das generalizações científicas (Hull, 1973, p. 21). Os dados coletados deveriam ser organizados em três tabelas: uma tabela de essência, uma tabela de desvio e uma tabela de grau. Em uma investigação sobre a expansão de materiais sob a ação do calor, por exemplo, as observações referentes aos objetos que se expandem quando aquecidos entrariam na tabela de essência; as observações

⁵ Esta posição apresentada por Chalmers também aparece nas críticas que Feyerabend dirige à metodologia dos programas de pesquisa, discutidas no final deste capítulo.

de objetos que não se expandem, na tabela de desvio; e, por fim, as variações no grau de expansão, na tabela de grau (El-Hani & Pereira, 2001, p. 151). Após a organização dos dados, a construção de uma lei ou teoria científica deveria ter lugar por exclusão completa, ou seja, o naturalista deveria imaginar todas as explicações possíveis para a distribuição dos dados em suas tabelas e eliminar cada uma delas, até que restasse apenas uma, que seria absolutamente verdadeira. Assim, a indução baconiana era baseada em um processo de análise da experiência seguido por um processo de exclusão e rejeição que levaria a uma conclusão inevitável (Hull, 1973, p. 23).

Filósofos da ciência do século XIX, como John Herschel, John Stuart Mill e William Whewell reconheciam a importância de Bacon como patrono da revolução científica do século XVII e do termo ‘indução’, mas discordavam quanto ao significado deste último. Herschel e Mill, como empiristas, definiam ‘indução’ como a descoberta de leis empíricas a partir dos fatos, raciocinando-se do conhecido para o desconhecido (Hull, 1973, p. 5). Já Whewell, um racionalista (no que concerne à fonte do conhecimento), afirmava que a ‘indução’ constitui na imposição de conceitos ao mundo empírico pela mente (Hull, 1973, p. 24). A experiência poderia, para Whewell, estimular a mente a formar um conceito, mas, uma vez que o conceito apropriado tivesse sido concebido, a verdade estaria garantida. Para Herschel e Mill, as leis de Kepler e as linhas paralelas postuladas na geometria euclidiana, por exemplo, eram induções obtidas a partir da experiência. Já para Whewell, elas eram verdades auto-evidentes que poderiam ser conhecidas *a priori* (Hull, 1973, p. 5). Uma das principais preocupações dos filósofos que postulavam o método indutivo como base dos procedimentos científicos estava relacionada às incertezas inerentes às inferências indutivas, visto que, em um argumento indutivo, ao contrário de um argumento dedutivo⁶, existe sempre a possibilidade de que premissas verdadeiras levem a uma conclusão falsa. Assim, numa tentativa de eliminar estas incertezas, Bacon, Herschel e Mill buscaram meios de realizar inferências indutivas mais rigorosas, enquanto Whewell recorreu à noção de verdade auto-evidente (Hull, 1973, pp.19- 20). De acordo com Hull (1973, p. 17), no entanto, Bacon teria falhado em sua tentativa de identificar as principais fontes de erro na epistemologia de Aristóteles, que

⁶ Em um argumento dedutivo, caso as premissas sejam verdadeiras e o argumento válido, a conclusão deverá ser também verdadeira (Hull, 1973, p. 19).

consistem, em sua visão, na busca de uma certeza absoluta na aquisição do conhecimento e no uso de um procedimento obscuro, a intuição, para alcançar este fim.

Para Chalmers ([1982]1997, p. 35), Mill desenvolveu uma das tentativas mais sofisticadas para sistematizar o raciocínio indutivo. A sofisticação do raciocínio indutivo teria surgido da necessidade de os filósofos responderem às críticas feitas ao indutivismo. Chalmers discute, no entanto, o papel de uma visão muito menos sofisticada do que as posições indutivistas encontradas em filósofos como Herschel, Mill e Bacon, o indutivismo ingênuo, na imagem popular da ciência. Para o indutivista ingênuo, as teorias científicas seriam derivadas de maneira rigorosa dos dados da experiência adquiridos por observação e experimentos, e aspectos como opiniões, preferências pessoais e suposições especulativas não teriam lugar na ciência (Chalmers, [1982]1997, p. 23). Entretanto, em contraste com Bacon, que propunha a obtenção de generalizações científicas por meio de um procedimento rigoroso (mas impossível de ser efetivamente realizado), a indução por exclusão completa, o indutivista ingênuo imagina que leis e teorias universais podem ser obtidas a partir de afirmações singulares por meios bem menos rigorosos. No indutivismo ingênuo, generalizações dessa natureza poderiam ser consideradas válidas caso seguissem critérios bem mais suaves e vagos do que aqueles propostos por Bacon: (1) o número de proposições de observação que formam a base empírica de uma generalização tem de ser ‘grande’; (2) as observações devem ser repetidas sob uma ‘ampla variedade’ de condições; e (3) nenhuma proposição de observação poder entrar em conflito com a lei universal derivada (Chalmers, [1976]1997, p. 26). Esses critérios fundamentariam o princípio da indução. É dessa maneira que o indutivista ingênuo concebe a construção do conhecimento científico pela indução a partir da base segura fornecida pela observação (Chalmers, [1982]1997, p. 27). A segurança da base empírica seria determinada pela confiança que poderia ser depositada nos dados empíricos, justificada pela quantidade e variedade das observações. Uma generalização obtida por indução baseada em uma grande quantidade de observações, repetidas sob uma ampla variedade de condições, que não entrem em conflito com a lei universal derivada, poderia ser considerada uma teoria científica, segundo o critério de demarcação seguido pelos indutivistas ingênuos.

O indutivismo teve de deparar-se com problemas relacionados ao próprio princípio da indução. O problema da indução pode ser resumido da seguinte maneira: se, de acordo

com o princípio da indução, a observação nos proporciona um conjunto seguro de proposições como ponto de partida para a descoberta de leis e teorias universais, de que modo se pode justificar que o raciocínio indutivo conduza a conhecimento verdadeiro (Chalmers, [1982]1997, p. 36)? O indutivista sofisticado procura resolver o problema da indução por meio de duas abordagens, uma baseada na lógica, outra, na experiência (Chalmers, [1982]1997, pp. 36, 37). Com relação à lógica, o princípio da indução poderia ser justificado caso as premissas de um argumento indutivo demonstrassem a sua conclusão. A tentativa de justificar a indução por meio da lógica, no entanto, não surte efeito, visto que é uma propriedade do próprio raciocínio indutivo que a conclusão de tal forma de argumento possa ser falsa, ainda que as premissas sejam verdadeiras, sem que haja qualquer contradição envolvida (Chalmers, [1982]1997, p. 37). Ao utilizar a experiência para tentar justificar o princípio da indução, o indutivista também não é bem sucedido. Na tentativa de justificar a indução a partir da experiência, o indutivista se vale dos relatos de previsões e explicações bem sucedidas tornadas possíveis por leis e teorias científicas derivadas indutivamente (Chalmers, [1982]1997, p. 38). Desse modo, ao ser capaz de funcionar satisfatoriamente em uma gama de leis e teorias científicas, o princípio da indução poderia ser justificado. No entanto, o raciocínio utilizado nessa justificação da indução nada mais é que um raciocínio indutivo; afinal, trata-se da validação de uma afirmação universal (o princípio da indução é sempre bem sucedido) a partir de várias afirmações singulares (o princípio da indução foi bem sucedido na ocasião x_1 ; o princípio da indução foi bem sucedido na ocasião x_2 ; etc.) (Chalmers, [1982]1997, pp. 38, 39). Isso nos leva a um raciocínio circular inaceitável que utiliza um argumento indutivo para tentar justificar o princípio da indução (Chalmers, [1976]1997, pp. 38, 39). A idéia de que o princípio da indução apresenta incoerências e a constatação de que a tentativa de alicerçar este princípio com base na experiência é ineficaz, visto que levaria a uma regressão infinita, remontam a Hume (Popper, 1993, p. 29).

Em uma tentativa de superar o problema da indução, alguns indutivistas passaram a afirmar que, embora a inferência indutiva não seja ‘estritamente válida’, ela pode atingir algum grau de ‘confiabilidade’ ou probabilidade (Popper, [1959]1993, p. 30). Isso significa que, embora as generalizações às quais se chega por induções legítimas não possam ser garantidas como perfeitamente verdadeiras, elas poderiam ser consideradas provavelmente

verdadeiras (Chalmers, [1976]1997, p. 41). Esta abordagem do problema da indução foi característica do positivismo lógico. Segundo Reichenbach (1930, citado por Popper, [1959]1993, p. 30), por exemplo, o princípio de indução é o meio pelo qual a ciência decide acerca da probabilidade de uma afirmação, visto que não seria dado à ciência chegar seja à verdade, seja à falsidade. Segundo Popper ([1959]1993), no entanto, a idéia de probabilidade na lógica indutiva deve ser rejeitada, visto que as dificuldades do indutivismo em nada diminuem ao utilizarmos tal idéia. Ao atribuir-se certo grau de probabilidade a enunciados que se fundamentam em inferência indutiva, esta atribuição terá que ser justificada pela invocação de um novo princípio de indução, convenientemente alterado. E surgirá a necessidade de justificar esse novo princípio, e assim por diante. Nada se ganha com o ‘recuo para a probabilidade’ (Chalmers [1982]1997), na medida em que essa abordagem da lógica indutiva também conduz a uma regressão infinita (Popper, [1959]1993, p. 30).

Além da dificuldade de justificar-se o princípio da indução, existem outras questões envolvidas na crítica ao indutivismo, relacionadas à vagueza e dubiedade da exigência de que um grande número de observações seja feito sob uma ampla variedade de circunstâncias. Quantas observações constituem um grande número e o que deve ser considerado como uma variação significativa nas circunstâncias? A questão relacionada ao número de observações necessárias para uma generalização não é simples de ser respondida, visto que há casos em que uma única observação pode ser suficiente para uma indução. Um exemplo disso seria o de que, para que a afirmação de que armas nucleares podem causar morte e destruição em larga escala tenha sido aceita como conhecimento comprovado, bastou uma única observação: a explosão de uma bomba atômica sobre Hiroshima. Já com relação a outras questões, uma observação única seria insuficiente, como no caso, por exemplo, da proposição de que há uma ligação entre o fumo e o câncer de pulmão. Isso traz novas dificuldades para o indutivista ingênuo. Sabe-se que, em uma investigação, a lista de variações das circunstâncias de observação pode ser estendida indefinidamente. No entanto, o que acontece é que, para cada investigação, um determinado espectro de variações é utilizado (variações necessárias), enquanto outras são consideradas insignificantes (variações supérfluas), e o que diferencia uma variação supérflua de uma variação necessária é o conhecimento teórico da situação. De maneira similar, para

delimitar-se a amostra necessária para um determinado estudo empírico, toma-se como base conhecimentos teóricos prévios. Isso contraria, no entanto, a posição indutivista ingênua, na medida em que corresponde a um reconhecimento de que conhecimento teórico deve preceder experimentos e observações (Chalmers, [1982]1997, pp. 40). Popper se refere, de maneira algo irônica, à ‘teoria do balde’ (*bucket theory*). De acordo com esta teoria, escreve ele, nosso conhecimento e nossa experiência consistiriam tanto em percepções acumuladas quanto em percepções assimiladas, separadas e classificadas, e nossa mente assemelhar-se-ia a um recipiente, a um tipo de balde, no qual percepções e conhecimento se acumulam (Popper, [1972]1979, p. 341). Este modo de obtenção do conhecimento se mostra bastante similar ao apresentado pelos indutivistas ingênuos e mesmo por Bacon, em sua indução por exclusão completa. Popper discorda desta explicação para a obtenção do conhecimento, afirmando que não considera este o método real utilizado na pesquisa científica. Segundo ele, a ciência é impossível sem a experiência, mas a noção de experiência deve ser cuidadosamente considerada. Na ciência, é a observação mais do que a percepção que tem um papel decisivo. Uma observação é uma percepção que deve ser planejada e preparada. Ela é sempre precedida por um interesse particular, uma questão, ou um problema – resumindo, por algo teórico. Isso mostra porque as observações são sempre seletivas, pressupondo algo que sirva como princípio de seleção das observações relevantes (Popper [1972]1979, pp. 342-343). Além disso, uma observação sempre pressupõe a existência de algum sistema de expectativas. Estas expectativas podem ser formuladas como perguntas, com as observações sendo utilizadas para obter tanto uma confirmação quanto uma resposta correta para as expectativas então formuladas (Popper, [1972]1979, p. 344). Para Popper, as hipóteses, expectativas, teorias precedem a observação, ainda que uma observação que refute uma hipótese possa estimular o desenvolvimento de uma nova hipótese. É apenas a partir das nossas hipóteses que nós aprendemos que tipos de observações devemos fazer. As hipóteses funcionariam como um guia que nos levaria a novos resultados observacionais. Esta visão é chamada por Popper de teoria da lanterna (*searchlight theory*) (Popper, [1972]1979, p. 346). Assim, as proposições de observação são sempre construídas na linguagem de alguma teoria e teorias precisas e claramente formuladas são um pré-requisito para proposições de observação igualmente precisas e claras (Chalmers, [1982]1997, p. 54). Além disso, essa visão implica que as proposições de observação não

constituem uma base indubitavelmente segura para a construção de leis e teorias, na medida em que são tão sujeitas a falhas quanto as teorias que pressupõem (Chalmers, [1982]1997, p. 55). A ciência nunca começa do nada e nunca pode ser descrita como sendo livre de suposições. Popper, no entanto, não desmerece a importância da observação para a ciência. Segundo ele, as observações cumprem um papel fundamental no teste das hipóteses científicas (Popper, [1972]1979, p. 346).

Como uma forma de defender o princípio da indução em face da questão da dependência que a observação tem da teoria, os indutivistas sofisticados passaram a prescindir da afirmação de que a ciência deve começar com a observação imparcial, fazendo uma distinção entre o contexto da descoberta eo contexto da justificação (Chalmers, [1982]1997, p. 60). No entanto, mesmo esta estratégia se mostrou inconsistente, visto que não é possível conceber uma proposição de observação que não seja carregada de teorias. Assim, tanto as teorias quanto as proposições observacionais podem ser consideradas falíveis (Chalmers, [1982]1997, p. 60). Percebe-se, assim, que ambos os tipos de indutivismo, que têm em comum a crença de que as teorias científicas devem ser justificadas por meio de seu apoio indutivo na base segura da experiência apresentam falhas que não foram, até o momento, superadas.

O próprio método indutivo propicia, para os indutivistas, um critério de demarcação da ciência. Os ‘velhos positivistas’(Popper, [1959]1993), por exemplo, consideravam científicos ou legítimos apenas os conceitos cujo significado fosse derivado da experiência ou seja, os conceitos que acreditavam ser logicamente redutíveis a elementos da experiência sensorial, tais como sensações, impressões, percepções, lembranças visuais ou auditivas. Já os ‘positivistas modernos’(Popper, [1959]1993) percebem que a ciência não é meramente um sistema de conceitos, mas antes um sistema de enunciados, e, consequentemente, passam a admitir como científicos ou legítimos os enunciados que são redutíveis a enunciados elementares (ou atômicos) da experiência (Popper, [1959]1993, pp.35-36). No entanto, mesmo ao deixar de considerar o significado dos conceitos como derivado da experiência e passar a referir-se ao conhecimento científico como um sistema de enunciados, os positivistas modernos continuam mantendo a lógica indutiva como critério de demarcação. De acordo com Popper (Popper, [1959]1993, p. 36), os positivistas costumam interpretar o problema da demarcação de maneira naturalista. Em vez de tomar o

conhecimento como razão que os leve a empenhar-se em propor uma convenção adequada, acreditam estar obrigados a descobrir uma diferença da natureza das coisas, uma diferença entre a ciência, por um lado, e a metafísica, por outro (Popper, [1959]1993, p.36).

O convencionalismo se apresenta como mais uma tentativa de solucionar o problema da demarcação. De acordo com Lakatos ([1978]1995), ele pode ser dividido em dois tipos: o convencionalismo moderado ou conservador e o convencionalismo revolucionário.

O convencionalismo conservador afirma que, após um período considerável de sucesso empírico inicial, os cientistas podem tomar a decisão de não permitir que uma teoria seja refutada e, uma vez tomada esta decisão, as anomalias aparentes da teoria podem ser resolvidas por meio de hipóteses auxiliares ou outros ‘estratagemas convencionalistas’ (Lakatos, [1978]1995, p. 21). Esta atitude permitiria assim, que qualquer teoria pudesse ser salva de uma refutação (Lakatos, [1978]1995, p. 21, n. 2). Esse tipo de convencionalismo, no entanto, apresenta uma desvantagem, visto que é incapaz de resolver o problema da eliminação de teorias que tenham sido bem sucedidas por um longo período de tempo. Isso ocorre porque, ao tomar a decisão metodológica de não refutar uma teoria que tenha superado a fase de tentativa-e-erro, o convencionalista conservador se auto-impõe uma prisão. Assim, para um convencionalista conservador, à medida em que a ciência cresce, o poder das evidências empíricas diminui (Lakatos, [1978]1995, p. 21).

O convencionalismo revolucionário surge da crítica à idéia de que, embora os cientistas construam seus quadros conceituais, chega um momento em que tais esquemas se transformam em prisões que não podem ser destruídas (Lakatos, 1995, p. 21). Este tipo de convencionalismo deu origem a duas escolas rivais: o simplicismo de Duhem e o falsificacionismo metodológico de Popper (Lakatos, [1978]1995, p. 21).

Duhem concorda com a afirmação dos convencionalistas conservadores de que nenhuma teoria física se desagrega apenas sob o peso das refutações. No entanto, ele defende que a desagregação de uma teoria pode ocorrer como consequência de contínuas reparações que levariam a teoria a perder sua simplicidade original, o que a levaria a ser substituída (Lakatos, [1978]1995, p. 22). Popper criticava o simplicismo de Duhem por levar, em sua visão, à destruição do empirismo, conferindo à subjetividade um papel que lhe parecia excessivo. Assim, ele desenvolveu o falsificacionismo metodológico como uma

metodologia capaz de permitir que as experiências sejam poderosas mesmo em uma ciência madura (Lakatos, [1978]1995, p. 22). Antes de discutir o falsificacionismo metodológico, no entanto, será apresentada uma outra tentativa de preservar o empirismo e, ao mesmo tempo, derrubar os argumentos indutivistas, o falsificacionismo dogmático (ou naturalista).

O falsificacionismo dogmático é considerado por Lakatos o tipo mais fraco de falsificacionismo, caracterizando-se por considerar a evidência empírica contrária como o único árbitro que pode julgar uma teoria (Lakatos, [1978]1995, p. 12). Para os falsificacionistas dogmáticos, a ciência seria incapaz de comprovar teorias e, no entanto, seria plenamente capaz de refutá-las. A honestidade científica consistiria, nesse tipo de falsificacionismo, em especificar antecipadamente uma experiência tal que, caso o seu resultado contradisse a teoria, esta última deveria ser abandonada. Assim, de acordo com o falsificacionista dogmático, uma vez que uma teoria tenha sido refutada, ela deve ser incondicionalmente rejeitada (Lakatos, [1978]1995, p. 13).

Com relação à noção de crescimento da ciência, os falsificacionistas dogmáticos consideram que uma ciência cresce através da destruição repetida de teorias com o auxílio de fatos sólidos (Lakatos, [1978]1995, p. 13). A ciência avançaria por meio de especulações ousadas, que nunca seriam provadas ou mesmo tornadas prováveis, sendo algumas delas eliminadas por refutações firmes e conclusivas e, então, substituídas por novas especulações, ainda mais ousadas (Lakatos, [1978]1995, p. 14). Lakatos afirma que esse tipo de falsificacionismo é insustentável, visto que se assenta em dois pressupostos falsos, discutidos abaixo, e num critério demasiado estrito de demarcação entre o científico e o não-científico (Lakatos, [1978]1995, p. 14).

O primeiro pressuposto falso utilizado pelos falsificacionistas dogmáticos consiste na afirmação de que existe uma fronteira psicológica natural entre proposições teóricas ou especulativas, por um lado, e proposições factuais ou observacionais, por outro (Lakatos, 1995, p. 14). Esta distinção, no entanto, se mostra inconsistente, porque observações não são ‘observacionais’ no sentido de serem efetuadas apenas pelos sentidos, dependendo sempre de uma gama de teorias (Lakatos, [1978]1995, p. 15). O segundo pressuposto admitido pelo falsificacionista dogmático que Lakatos considera falso assume que, se uma proposição satisfaz o critério lógico de ser factual ou observacional, então ela é verdadeira (Lakatos, [1978]1995, p. 14). Este pressuposto é facilmente destruído pela lógica, assim

como pelos argumentos relacionados à dependência teórica das observações. O valor de verdade de uma proposição não pode ser indubitavelmente decidido, visto que nenhuma proposição factual pode ser provada por um experimento – uma proposição só pode derivar de outras proposições, e não de fatos. Assim, não existe separação entre teorias débeis, não-comprovadas, e sólida base empírica comprovada – todas as proposições da ciência, mesmo as observacionais, são teóricas e falíveis (Lakatos, [1978]1995, pp. 15-16). Por fim, observa-se que exatamente as mais admiráveis teorias científicas simplesmente falharam em proibir qualquer estado de coisas observáveis (Lakatos, [1978]1995, pp. 15-16) e que as teorias que são capazes de proibir algum fato singular o fazem com a utilização de cláusulas *ceteris paribus*, que podem ser substituídas à medida em que são refutadas, permitindo que se mantenha, assim, a teoria específica testada, seja qual for o resultado do teste (Lakatos, [1978]1995, p. 18). Isso mostra que o falsificacionsimo dogmático, por apresentar critérios de demarcação fortemente anti-teóricos, não consegue dar conta das principais teorias científicas, relegando-as para o território das teorias metafísicas, que não são nem comprováveis nem refutáveis (Lakatos, [1978]1995, p. 18).

O falsificacionismo metodológico, ao contrário do dogmático, reconhece que, nas técnicas experimentais, estão implicadas teorias falíveis, à luz das quais os fatos são interpretados. Esse conhecimento teórico, no entanto, é considerado um conhecimento preliminar não-problemático, sendo aceito e utilizado enquanto uma teoria está sendo testada (Lakatos, [1978]1995, p. 23). Assim, o falsificacionista metodológico utiliza as teorias mais bem sucedidas como extensões do sentido, aumentando o leque de teorias que podem ser aplicadas nas verificações para além dos limites das teorias estritamente observacionais utilizadas pelos falsificacionistas dogmáticos (Lakatos, [1978]1995, p. 23).

Nesse tipo de falsificacionismo, é possível verificar a existência de um elemento convencional considerável, que aparece nos momentos em que se atribui o estatuto de ‘observacional’ a uma teoria e que se dá o valor de verdade real a um enunciado básico após ser decidida a teoria observacional a ser aplicada (Lakatos, [1978]1995, pp. 23-24).

O falsificacionismo metodológico considera necessário que existam formas de eliminar-se algumas teorias, visto que, caso nenhuma teoria pudesse ser eliminada, o desenvolvimento da ciência passaria a ser caótico (Lakatos, [1978]1995, p. 24). Essa forma de falsificacionismo propõe um novo critério de demarcação, de acordo com o qual somente

são científicas as teorias ou proposições observacionais que proíbem certos estados de coisas observáveis e que, por isso, podem ser falsificadas e rejeitadas. Este critério de demarcação é muito mais liberal do que o do falsificacionismo dogmático, visto que permite que um número muito maior de teorias, como, por exemplo, teorias observacionais e teorias probabilísticas⁷, possam ser qualificadas como científicas (Lakatos, [1978]1995, p. 25).

Com relação à demarcação de teorias que apresentam cláusulas *ceteris paribus*, o procedimento utilizado pelo falsificacionismo metodológico é o seguinte: Ao refutar uma teoria em conjunto com uma cláusula *ceteris paribus*, é preciso decidir se a refutação deve ser dirigida ou não à teoria propriamente dita. Para isso, deve-se tomar a decisão de relegar ou não a cláusula *ceteris paribus* para o campo do conhecimento preliminar não-problemático. Esta cláusula será considerada não-problemática caso se pense que ela esteja bem corroborada. Esta decisão, no entanto, é arriscada, visto que, após relegar-se a cláusula *ceteris paribus* para o campo do conhecimento preliminar não-problemático, no caso de esta ser refutada, a teoria como um todo será falsificada – ela deixará de ser uma mera anomalia presente em uma teoria e passará a ser o motivo de sua falsificação (Lakatos, [1978]1995, p. 26).

O falsificacionismo metodológico também foi capaz de dar um passo ainda mais ousado, propondo que mesmo uma teoria que não conseguisse ser transformada em uma teoria empiricamente falsificável poderia ser falsificada caso entrasse em choque com outra teoria considerada científica e bem corroborada (Lakatos, [1978]1995, p. 27). Assim, uma teoria poderia ser rejeitada ao chocar-se diretamente com uma outra teoria que pudesse ser situada no campo do conhecimento preliminar não-problemático (Lakatos, [1978]1995, pp. 27-28). Assim, o falsificacionista metodológico é capaz de eliminar até mesmo teorias sintaticamente metafísicas e enunciados puramente existenciais que, devido à sua forma lógica, não apresentam falsificadores potenciais e espaço-temporalemente singulares (Lakatos, [1978]1995, p. 28).

Ao assumir todas estas convenções, o falsificacionismo metodológico conseguiu, de certo modo, avançar em relação tanto ao falsificacionismo dogmático quanto ao

⁷ As teorias probabilísticas, embora não sejam falsificáveis, podem vir a sê-lo por uma decisão adicional, na qual o cientista especifica regras de rejeição que poderiam tornar a evidência estatisticamente inconsistente com elas (Lakatos, 1995, p. 25).

convencionalismo conservador. No entanto, as decisões metodológicas envolvidas nesse tipo de falsificacionismo são arriscadas, refletindo uma atitude audaciosa que poderia levar esta forma de falsificacionismo a seguir por um mau caminho (Lakatos, [1978]1995, p. 28), no qual teorias seriam eliminadas desnecessariamente. Mesmo sabendo dos riscos que estão correndo, os falsificacionistas metodológicos argumentam que esse seria o preço que teríamos que pagar pela possibilidade do progresso científico (Lakatos, [1978]1995, p. 28).

Surgem então as seguintes questões (Lakatos, [1978]1995, p. 28): (1) Será que a estratégia firme do falsificacionismo metodológico não é firme em demasia? (2) Não serão as suas decisões por demais arbitrárias? Além disso, observa-se que pelo menos duas características cruciais dos falsificacionismos metodológico e dogmático estão em dissonância com a história das ciências. Primeiro, a idéia de que um teste empírico é ou deve ser uma luta restrita a dois intervenientes, a teoria e a experiência. A história das ciências demonstra, no entanto, que tais testes consistem de uma luta com pelo menos três intervenientes, duas teorias rivais e a experiência (Lakatos, [1978]1995, p. 31). A segunda característica diz respeito à tese de que o único desenlace interessante dessa confrontação é a falsificação. No entanto, a história das ciências mostra que algumas das experiências mais importantes tiveram como resultado a confirmação de determinadas teorias, e não a falsificação (Lakatos, [1978]1995, p. 31). Lakatos identifica em Popper a busca de uma nova alternativa para o falsificacionismo através de uma diminuição de seu conteúdo convencional e do desenvolvimento de uma versão sofisticada do falsificacionismo metodológico – o falsificacionismo metodológico sofisticado (Lakatos, [1978]1995, p. 31).

O falsificacionismo metodológico sofisticado difere do falsificacionismo metodológico ingênuo tanto em relação às suas regras de aceitação quanto às suas regras de falsificação ou eliminação (Lakatos, [1978]1995, p. 31). Para o falsificacionista metodológico sofisticado, uma teoria somente é considerada aceitável ou científica quando apresenta um conteúdo empírico corroborado adicional ao conteúdo empírico corroborado da teoria anterior ou rival (Lakatos, [1978]1995, pp. 31-32). A existência de um conteúdo adicional pode ser verificada imediatamente por análise lógica *a priori*, enquanto que a verificação empírica desse conteúdo (a sua corroboração empírica) pode levar um tempo indeterminado para ocorrer (Lakatos, [1978]1995, p.32). Observa-se, assim, que este tipo

de falsificacionismo desvia o foco de atenção dos méritos de teorias isoladas para os méritos relativos de teorias concorrentes (Chlamers, [1982]1997, p. 78).

No falsificacionismo metodológico sofisticado, uma teoria T somente é falsificada caso uma outra teoria T' proposta possua as seguintes características: (1) T' apresenta, comparativamente a T , um conteúdo empírico adicional (T' prediz novos fatos, que não eram previstos por T); T' explica os resultados prévios de T (inclui todo o conteúdo não-refutado de T); e (3) uma parte do conteúdo adicional de T' é corroborada. Essas características mostram de forma clara uma das principais diferenças entre o falsificacionismo metodológico ingênuo e o falsificacionismo metodológico sofisticado: Neste último, as teorias não são tratadas isoladamente, testando-as somente com bases em dados empíricos e, a depender dos resultados desses testes, falsificando-as; o falsificacionismo metodológico sofisticado avalia séries de teorias (Lakatos, [1978]1995, p. 33). Uma outra diferença entre esses dois tipos de falsificacionismo está na ênfase dada à falsificação. No falsificacionismo metodológico sofisticado, ao contrário do que ocorre no ingênuo, não se busca a falsificação a qualquer preço, sendo legítima a utilização de ajustamentos teóricos para salvar teorias. A falsificação não é uma condição *suficiente* para a eliminação de uma teoria, sendo necessário que esteja disponível uma teoria melhor, capaz de substituir a teoria original, mesmo que apresente anomalias. Além disso, a falsificação (no sentido ingênuo) não é *necessária* para o falsificacionismo metodológico sofisticado. Uma alteração progressiva de problemas pode ocorrer sem que seja interpolada por refutações – a ciência pode desenvolver-se sem que as refutações lhe mostrem o caminho (Lakatos, [1978]1995, pp. 36-37). Assim, é lícita a utilização, com o intuito de salvar teorias, de hipóteses auxiliares que satisfaçam certas condições bem definidas e que sejam capazes de levar uma teoria a alcançar um progresso científico (Lakatos, [1978]1995, p.33).

Para que se entenda melhor os critérios de aceitação e rejeição de teorias do falsificacionismo metodológico sofisticado, concebendo-o dentro da concepção de séries de teorias, é preciso reformulá-los ligeiramente. Consideremos uma série de teorias T_1 , T_2 , $T_3\dots$, T_n , em que cada teoria subsequente resulta da adição de cláusulas auxiliares à teoria anterior, de modo a harmonizá-la com alguma anomalia e cada teoria presente, pelo menos, tanto conteúdo quanto o conteúdo não-refutado da sua antecessora. Esta série de

teorias pode ser considerada ‘teoricamente progressiva’ (ou pode-se dizer que ela apresenta uma ‘alteração de problemas teoricamente progressiva’) caso cada nova teoria contenha, comparativamente à sua antecessora, algum conteúdo empírico adicional, ou seja, prediga algum fato novo. Ela também pode ser considerada ‘empiricamente progressiva’, caso parte do seu conteúdo empírico adicional seja corroborado. O progresso em uma série de teorias é avaliado pelo grau de progressividade da alteração de problemas, pela freqüência com que a série de teorias conduz à descoberta de novos fatos. As séries de teorias em que não são observados nem progressos teóricos nem progressos empíricos são consideradas ‘degenerativas’, devendo, segundo Lakatos, ser rejeitadas como pseudo-ciência. Por fim, considera-se ‘falsificada’ uma teoria pertencente a uma série de teorias, quando ela é suplantada por outra com maior conteúdo corroborado (Lakatos, [1978]1995, pp. 33-34). Com isso, a falsificação deixa de ser uma relação entre uma teoria e a base empírica, e passa a ser uma relação múltipla que envolve teorias rivais, onde a base empírica e o desenvolvimento empírico resultam da rivalidade (Lakatos, [1978]1995, p. 35). Podemos também perceber diferenças entre os elementos cruciais do justificacionismo (indutivismo), do falsificacionismo ingênuo e do falsificacionismo metodológico sofisticado. Os justificacionistas dão valor às instâncias confirmadoras de uma teoria, os falsificacionistas ingênuos realçam a refutação, e, por fim, os falsificacionistas metodológicos consideram cruciais as instâncias corroboradoras, isto é, as instâncias verificadoras do conteúdo adicional de uma teoria numa dada série (Lakatos, [1978]1995, p. 36).

Uma outra característica importante do falsificacionismo metodológico sofisticado é o papel crucial da informação ou do conteúdo adicional. Para o indutivista, a informação ou o conteúdo de uma nova teoria diz respeito à quantidade de evidências confirmadoras que a sustentam. Para os falsificacionistas dogmáticos, adquirir conhecimento sobre uma teoria consiste em saber se ela se encontra ou não refutada; sobre teorias refutadas não se adquire qualquer conhecimento, a não ser o de que elas foram contestadas, enquanto que, sobre teorias confirmadas, também não se adquire conhecimento, visto que elas não são comprovadas ou tornadas prováveis. Para o falsificacionista sofisticado, adquirir conhecimentos sobre uma teoria consiste em saber quais os fatos novos que ela antecipa, qual o seu conteúdo excedente (Lakatos, [1978]1995, p. 38).

A presença do convencionalismo no falsificacionismo metodológico sofisticado é menor do que no ingênuo, devido a uma diminuição das decisões metodológicas utilizadas. Decisões referentes à questão de relegar-se ou não uma cláusula *ceteris paribus* ou uma teoria sintaticamente metafísica ao campo do conhecimento preliminar não-problemático se tornam desnecessárias. No primeiro caso, ao descobrir-se uma inconsistência em uma teoria, não é preciso decidir quais são os ingredientes da teoria que devem ser considerados problemáticos e não-problemáticos. Considera-se todos os ingredientes problemáticos à luz do enunciado básico incompatível aceito e tenta-se substituir a todos. Caso a substituição de algum ingrediente ocorra de maneira progressiva (ou seja, a substituição acrescenta conteúdo empírico à série de teorias), considera-se que o ingrediente substituído foi falsificado (Lakatos, [1978]1995, p.40). Já com relação às teorias sintaticamente metafísicas, estas serão conservadas enquanto as suas instâncias problemáticas puderem ser explicadas por modificações que resultem em aumento do conteúdo das hipóteses auxiliares ligadas a elas (Lakatos, [1978]1995, p. 41). Uma teoria sintaticamente metafísica progressiva produz uma alteração progressiva constante no seu escudo protetor de teorias auxiliares e, nos casos em que isso não acontece – ou seja, em que não surge nenhum conteúdo empírico novo –, a teoria está passando por uma alteração de problemas degenerativa e é considerada um mero exercício linguístico (Lakatos, [1978]1995, p. 41). Assim, a metodologia de um programa de investigação com um núcleo metafísico não difere da metodologia de um programa de investigação com um núcleo refutável, exceto talvez pelo nível lógico das inconsistências, que são a força motriz do programa (Lakatos, [1978]1995, p. 42).

Lakatos elabora sua teoria da ciência, a metodologia dos programas de pesquisa científica, em grande medida como uma extensão natural do falsificacionismo metodológico sofisticado. Segundo ele os membros de uma série de teorias são “geralmente conectados por uma notável continuidade a qual os consolida em um programa de pesquisa” (Lakatos, [1978]1995, p. 47)⁸. Esta continuidade desempenharia um papel vital na história das ciências. De acordo com Lakatos ([1978]1995, pp. 46-47), os principais problemas da história das ciências só podem ser satisfatoriamente discutidos nos quadros de uma metodologia de programas de investigação. Observa-se, assim, que a metodologia dos

⁸ “[...] are usually connected by a remarkable continuity which welds them into research programmes”.

programas de pesquisa científica surge da necessidade de esboçar-se programas de pesquisa genuínos, de modo a possibilitar o desenvolvimento de uma continuidade de teorias (Lakatos, [1978]1995, p. 47).

A metodologia dos programas de pesquisa é constituída por um conjunto de regras metodológicas, algumas dizendo quais os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa) e outras, quais os caminhos que devem ser seguidos (heurística positiva) (Lakatos, [1978]1995, p. 47).

Lakatos afirma que todos os programas de pesquisa científica são caracterizados por um núcleo duro (ou irredutível) (Lakatos, [1978]1995, p. 48). O núcleo irredutível de um programa de pesquisa assume a forma de uma hipótese teórica muito geral (ou um conjunto de hipóteses) que constitui a base a partir da qual o programa deve desenvolver-se (Chalmers [1982]1997, p.113). A decisão metodológica de desenvolver um núcleo irredutível em um programa de pesquisa é conhecida como a ‘heurística negativa’ do programa.⁹ A heurística negativa de um programa de pesquisa estipula que o núcleo irredutível (a característica principal que define um programa) não deve jamais ser rejeitado ou modificado. Assim, em vez de modificar-se o núcleo de um programa de pesquisa, deve-se articular ou mesmo inventar um cinturão protetor de hipóteses auxiliares que seja capaz de suportar o embate dos testes. Este cinturão protetor servirá para defender e fortalecer o núcleo irredutível, podendo ser ajustado, reajustado, ou até mesmo completamente substituído, caso necessário (Lakatos, [1978]1995, p. 48). Observa-se que a idéia de uma heurística negativa dos programas de pesquisa racionaliza em alta medida o convencionalismo clássico, visto que é devido a uma decisão racional que não se permite que as refutações sejam transmitidas para o núcleo duro. No entanto, esta decisão somente é mantida sob a condição de que o conteúdo teórico e/ou empírico corroborado do cinturão protetor de hipóteses auxiliares esteja sempre aumentando. Quando um programa deixa de antecipar novos fatos, é tomada a decisão lógica e empírica de abandonar o seu núcleo duro, abandonando-se, assim, o próprio programa (Lakatos, [1978]1995, p. 49).

⁹ Entende-se por ‘heurística’ o conjunto de técnicas de resolução de problemas utilizadas por cientistas engajados em um programa de pesquisa particular. Este termo difere dos termos ‘metodologia’ ou ‘demarcação ciência-pseudo-ciência’ por referir-se ao modo como o cientista deve comportar-se em um programa particular (Larvor, 1988, p.53).

Já a heurística positiva de um programa de pesquisa consiste em um conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como desenvolver e modificar as ‘variantes refutáveis’ do programa de pesquisa e sobre como modificar o cinturão protetor ‘refutável’ (Lakatos, [1978]1995, p. 50). Tal desenvolvimento tem como objetivo suplementar o núcleo irredutível com suposições adicionais, numa tentativa de explicar e prever fenômenos reais (Chalmers, [1982]1997, p.115). Esta suplementação é feita a partir do desenvolvimento de modelos cada vez mais complicados de simulação da realidade, sendo a atenção dos cientistas totalmente voltada para a construção destes modelos, e não para os exemplos contrários que possam aparecer neste processo (Lakatos, [1978]1995, p. 49). O processo de modificação das ‘variantes refutáveis’ de um programa de pesquisa promove uma consequente modificação do programa. Um programa de pesquisa tende, portanto, a sofrer alterações durante todo o seu desenvolvimento. A partir dessa constatação, pode-se reforçar a afirmação de que os programas de pesquisa não são constituídos por uma teoria única, que deve ser aceita ou refutada, mas por uma série de teorias conectadas entre si e que apresentam certa continuidade (Lakatos, [1978]1995, p. 47). Essa seqüência de teorias representa os estágios do desenvolvimento de uma idéia central (Larvor, 1998, p. 54).

Para Lakatos (Lakatos, [1978]1987, p.128), um programa de pesquisa pode ser bem ou mal sucedido. Ele deve ser considerado bem sucedido quando conduz a uma transferência ou alteração progressiva de problemas e mal sucedido quando leva a uma transferência ou alteração degenerescente de problemas. Ele (Lakatos, [1978]1987, p.128) afirma que um programa de pesquisa de sucesso sempre apresenta dezenas de enigmas a serem solucionados e questões técnicas a serem resolvidas. No entanto, essa característica do programa pode afastar os pesquisadores do problema fundamental originalmente colocado sem que estes percebam isso. Assim, na pesquisa científica, são freqüentemente resolvidos problemas diferentes e, por vezes, até mesmo mais interessantes do que o problema original que se buscava solucionar. Nesses casos, trata-se de uma transferência ou alteração progressiva do problema. No entanto, há casos em que são resolvidos problemas menos interessantes que o original e casos ainda mais extremos, nos quais a resolução ou mesmo a tentativa de resolução de problemas é interrompida. Nesses momentos, os problemas colocados por um programa de pesquisa nada mais são, muitas vezes, que frutos

da tentativa de resolver o problema levantado inicialmente, constituindo problemas menos interessantes do que o original. Nesses casos, pode-se falar em uma transferência ou alteração degenerescente do problema (Lakatos, [1978]1987, pp.128-129).

Em um programa de pesquisa, o progresso pode ser tanto teórico quanto empírico. No caso de uma transferência teoricamente progressiva do problema, o progresso pode ser imediatamente verificado, na medida em que consiste na obtenção de previsões novas a partir do programa. Já com relação ao progresso empírico, um programa pode ser frustrado por uma longa série de refutações antes que surjam hipóteses auxiliares engenhosas capazes de transformar uma seqüência de derrotas em uma história de sucesso, quer pela revisão de alguns fatos falsos, quer pela adição de novas hipóteses auxiliares. Para Lakatos, um programa de pesquisa deve apresentar, além de uma transferência teoricamente progressiva do problema, uma alteração empírica intermitentemente progressiva. Isso significa que é necessário que, pelo menos de vez em quando, o acréscimo de conteúdo na forma de previsões novas seja corroborado. No entanto, não há uma exigência de que, a cada passo, se produza imediatamente um novo fato observado – isso justifica a alteração empírica ser intermitentemente progressiva (Lakatos, [1978]1995, pp. 48-49).

O critério proposto por Lakatos para a demarcação de um programa de pesquisa *científico* consiste, portanto, na natureza progressiva do programa, considerando-se tanto o progresso teórico quanto o progresso empírico, ainda que intermitente. Segundo Lakatos é necessário que “ao menos de vez em quando o aumento de conteúdo seja considerado retrospectivamente corroborado: o programa como um todo deveria também apresentar uma transferência progressiva de problemas intermitente” (Lakatos, [1978]1995, p. 49).¹⁰

Com relação à questão da comparação entre programas de pesquisas competitivos, a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos enfrenta dificuldades. Ao contrário das hipóteses competidoras dentro de um único programa de pesquisa, que podem ter os seus méritos facilmente determinados, permanecem controvérsias quanto ao modo pelo qual a comparação entre programas de pesquisa competitivos deve ser feita e, inclusive, sobre a possibilidade mesma de tal comparação, no contexto da teoria da ciência de Lakatos (Chalmers, [1982]1997, p.120).

¹⁰ “ [...] at least every now and then the increase in content should be seen to be retrospectively corroborated: the programme as a whole should also display an intermittently progressive empirical shift”.

Os programas de pesquisa, em princípio, devem ter os seus méritos julgados de acordo com o seu caráter mais progressivo ou degenerescente (Chalmers, [1982]1997, p 119). Numa comparação entre programas de pesquisa, o programa degenerescente cederá espaço para um programa rival mais progressivo. Assim, de acordo com Lakatos, existiria uma razão objetiva para rejeitar-se um programa de pesquisa, que seria fornecida por um programa de investigação capaz de explicar o sucesso de um outro programa rival e suplantá-la por apresentar poder heurístico adicional. No entanto, o próprio Lakatos questiona este critério, na medida em que a novidade de uma proposição factual pode freqüentemente só ser percebida depois de decorrido um longo período de tempo (Lakatos, [1978]1995, p. 70). Em uma crítica a esse aspecto da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos, Feyerabend afirma que os programas de pesquisa, conforme concebidos por Lakatos, falham por não informarem ao cientista o que fazer. Segundo ele, não existem regras que dizem ao cientista para remover um programa degenerescente ou como recuperar um programa em risco de degeneração (Feyerabend 1973, in: Lakatos & Feyerabend, 1999, p.116). Ainda de acordo com Feyerabend (Feyerabend, in: Lakatos & Musgrave, 1979, p. 266), Lakatos concede um tempo à teoria para que ela se desenvolva, permite que ela mostre sua força oculta e só a julga depois de muito tempo. Os padrões críticos que Lakatos emprega, na concepção de Feyerabend, proporcionam um intervalo de hesitação, sendo aplicados *a posteriori*, depois da ocorrência da transferência progressiva ou degenerescente de problemas. Tais padrões só teriam força prática quando combinados com o limite de tempo, visto que o que parece uma transferência degenerativa de problemas pode ser o começo de um período muito mais longo de progresso. O fato de não se saber quando os padrões de Lakatos devem ser aplicados, segundo Feyerabend, pode fazer com que estes padrões sejam considerados vãos (Feyerabend, in: Lakatos & Musgrave, 1979, p. 266).

A resposta de Lakatos para este problema é a de que não se deve descartar um programa de pesquisa nascente simplesmente porque ele não conseguiu, até o momento, ultrapassar um programa rival poderoso (Lakatos, [1978]1995, pp.70-71). Lakatos acrescenta que alguns dos mais importantes programas de pesquisa da história se enxertaram em programas mais antigos com os quais eram incompatíveis e, à medida que o jovem programa enxertado se fortalecia, a coexistência pacífica chegava ao fim, a simbiose

se tornava competitiva e os defensores do novo programa tentavam substituir completamente o velho programa (Lakatos, [1978]1995, pp. 56-57). Essa atitude de enxertar programas teria o objetivo de possibilitar que estes tenham o seu poder heurístico explorado (Lakatos, [1978]1995, p. 59). Essa resposta, no entanto, não parece esclarecer outra questão importante, referente à comparação entre teorias incomensuráveis. Segundo Feyerabend e Kuhn (Feyerabend, in: Lakatos & Musgrave, 1979, p. 271), novas teorias, embora freqüentemente melhores e mais minuciosas do que as predecessoras, nem sempre são tão ricas ao ponto de poder lidar com todos os problemas aos quais suas predecessoras teriam dado respostas definidas e precisas. O crescimento do conhecimento ou, mais especificamente, a substituição de uma teoria ampla por outra envolveria tanto perdas quanto ganhos. Para que uma teoria T possa ser suplantada por uma outra teoria T' , é necessário que T' explique por que T falha, onde T falha, por que T foi, ao menos em parte, bem sucedida, e, além disso, a nova teoria deve apresentar novas previsões. Para que um esquema desse tipo funcione, é necessário que haja enunciados que apareçam tanto em T quanto em T' . No entanto, existem casos em que ocorre um julgamento comparativo sem que as teorias satisfaçam as condições apresentadas. Uma comparação entre classes de conteúdos seria, nesse caso, claramente impossível, não se podendo dizer qual das teorias comparadas estaria mais próxima ou mais distante da verdade (Feyerabend, in: Lakatos & Musgrave, 1979, pp. 271-272). Neste caso, estaríamos tentando realizar uma comparação entre teorias que, na verdade, seriam incomensuráveis. As teorias incomensuráveis podem ser refutadas por referência às suas próprias espécies respectivas de experiência. O conteúdo delas não pode ser comparado e nem é possível fazer julgamento de verossimilhança, a não ser dentro dos confins de uma teoria particular. O que restaria, nesse caso, seria a utilização de julgamentos estéticos, julgamentos de gosto e os nossos próprios desejos subjetivos (Feyerabend, in: Lakatos & Musgrave, 1979, p. 281). Ainda de acordo com Feyerabend (in: Lakatos & Musgrave, 1979, p. 282), as regras metodológicas de Lakatos seriam apenas um ornamento que nos faria esquecer a adoção de uma atitude do tipo vale-tudo, o que mostra sua posição crítica perante o caráter racionalista da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos.

Esta apresentação sucinta de alguns argumentos de Feyerabend tem como intuito apenas ilustrar a principal dificuldade enfrentada pela metodologia dos programas de

pesquisa de Lakatos, relacionada à comparação entre programas de pesquisa distintos, mais especificamente, ao problema do tempo que deve ser considerado para que uma teoria seja julgada degenerescente, para além de toda possibilidade de recuperação. Esta dificuldade, por sua vez, põe em xeque o próprio caráter racionalista assumido por Lakatos em sua teoria da ciência. No entanto, apesar de tais questionamentos, a metodologia dos programas de pesquisa se mostra muito útil para a análise da científicidade de um programa de pesquisa único, com base na sucessão das teorias que o compõem. Por esta razão, a teoria da ciência de Lakatos e, em particular, o critério de demarcação nela contido foram tomados como marcos de referência, neste trabalho, para a análise da científicidade da teoria Gaia.

Capítulo II

Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho de dissertação, foi necessário o estabelecimento de procedimentos que envolveram desde os aspectos relacionados à seleção de material bibliográfico até a forma de análise dos trabalhos e obtenção dos dados. Assim, o procedimento metodológico utilizado para a realização da análise da científicidade da teoria Gaia de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos foi dividido em duas partes: (1) critérios para a escolha e obtenção da bibliografia a ser analisada; (2) a metodologia de análise dos textos.

1) Critérios para a escolha e obtenção da bibliografia

O principal critério utilizado para a seleção do material bibliográfico foi a busca da maior quantidade possível de material publicado na forma de livros e artigos por James Lovelock desde a década de 1960, época em que ele começou a desenvolver as idéias que o levariam a formular a teoria Gaia.

Os livros escritos por Lovelock utilizados neste trabalho são quatro: *Gaia: A New Look at Life on Earth* ([1979]2000); *The Ages of Gaia: a Biography of our living Earth* ([1988]1995); *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine* ([1991]2000) (publicado pela editora americana Harmony Books com o título *Healing Gaia: Pratical Medicine for the Planet*); e *Homage to Gaia: the life of an independet scientist* (2001). Esses livros foram levantados nas livrarias virtuais Barnes and Noble (www.barnesandnoble.com) e Amazon (www.amazon.com). Outros livros em que aparecem capítulos escritos por Lovelock também foram selecionados: *Gaia. Uma teoria do Conhecimento*, organizado por William Irwin Thompson; *Gaia 2. Emergence. The New Science of Becoming*, também organizado por W. I. Thompson; *Scientists on Gaia*, organizado por Stephen Schneider e Penelope Boston; e *Biodiversidade*, organizado por Edward O. Wilson.

Com relação aos artigos, toda a seleção foi feita na base de dados “Web of Science” (www.webofscience.fapesp.br), do *Institute of Scientific Information*. O modo de consulta utilizado foi o de busca completa (*full search*) e as pesquisas foram realizadas por busca do autor, empregando-se tanto o nome ‘Lovelock, JE’ quanto ‘Lovelock, J’, visto que foi observado que as duas formas apareciam em artigos do proponente da teoria Gaia. Dos artigos encontrados, foram selecionados todos aqueles publicados a partir de 1960.

Outras duas pesquisas bibliográficas foram feitas para este trabalho. A primeira, na base de dados “Web of Science”, utilizando como critério de busca a palavra-chave ‘Gaia’. Dessa pesquisa, foram selecionados alguns artigos escritos por diversos autores, apresentando discussões relacionadas à teoria Gaia, que pareciam particularmente interessantes para os objetivos da pesquisa. Estes artigos incluem posicionamentos a favor ou contra a teoria, análises epistemológicas e/ou historiográficas, e trabalhos tratando da aplicabilidade da teoria em educação e/ou de sua transposição para o conhecimento escolar. Outra pesquisa utilizando a mesma palavra-chave foi feita na base de dados ERIC, específica para a área de Educação, com o objetivo de levantar mais trabalhos relacionando Gaia a questões educacionais (www.eric.ed.gov/).

A lista com todos os artigos selecionados foi levada ao serviço COMUT da Biblioteca Central da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Lá realizou-se um trabalho de localização da maioria dos artigos listados. Os artigos existentes nos campi da UFBA foram obtidos nas próprias bibliotecas - Biblioteca Central e dos Institutos de Física,

Química e Geociências. Já os artigos localizados em outras universidades do Brasil foram pedidos pelo COMUT. Dos artigos listados, 73% foram obtidos e 27% não foram encontrados, sendo, consequentemente, descartados da análise.

2) Metodologia de análise dos textos

O procedimento metodológico referente à análise do material bibliográfico foi de importância fundamental para este trabalho, visto que foi a partir desta análise que toda a dissertação foi construída. A leitura dos livros e artigos de Lovelock foi feita de modo direcionado, buscando-se nos textos deste autor a presença de aspectos essenciais para a caracterização de Gaia como um programa de pesquisa e para a análise da estrutura deste programa e avaliação de sua científicidade. Esses aspectos essenciais foram elaborados na forma de tópicos, a partir de um estudo dos principais pontos que caracterizam a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos. Os artigos de Lovelock foram lidos em ordem cronológica, visto que Lakatos toma como ponto de partida a idéia de que um programa de pesquisa deve ser analisado como uma série de teorias que se modificam ao longo do tempo e, assim, ao interpretarmos Gaia como um programa de pesquisa, perceu-nos que o procedimento mais apropriado para a análise do material bibliográfico deveria ter como base uma leitura cronológica do mesmo, desde a época, na década de 1960, em que esperávamos encontrar os primeiros elementos que conduziriam Lovelock à proposição da teoria. Ao realizarmos a leitura de cada texto de Lovelock, todos os pontos explicados abaixo foram analisados, não necessariamente na ordem em que são apresentados, visto que nem todos os textos contêm, necessariamente, cada um dos tópicos investigados. A análise da teoria Gaia como um programa de pesquisa envolverá todos os itens abaixo, que são intimamente relacionados e apresentam, cada um, importância fundamental para os resultados da pesquisa.

Todos os trechos dos artigos e livros de Lovelock que aparecem na íntegra nesta análise foram colocados, em sua versão original em inglês, em notas de rodapé. Este procedimento se mostrou importante, visto que toda a análise foi feita com base em afirmações encontradas nos trabalhos de Lovelock, sendo desejável que os leitores desta

dissertação tivessem acesso aos textos originais. A tradução desses trechos fez parte do trabalho da dissertação e é de nossa responsabilidade.

(a) Delimitação da(s) versão(ões) da teoria Gaia com sua(s) proposição(ões) nuclear(res) e seu(s) cinturão(ões) protetor(es).

Esse item consiste na observação e caracterização das modificações que possam ter ocorrido na estrutura da teoria Gaia desde a sua formulação inicial até os dias atuais. A leitura e análise dos trabalhos de Lovelock será direcionada para a observação de qual(is) a(s) idéia(s) principal(is) ou proposição(ões) nuclear(es) que aparece(m) em cada texto e quais são as hipóteses auxiliares que constituem o cinturão protetor desta(s) proposição(ões) nuclear(es), bem como as modificações que ocorreram nestas hipóteses ao longo do tempo. Como resultado da leitura dos trabalhos de Lovelock, será possível explicitar as idéias principais que caracterizam Gaia como um programa de pesquisa (o ‘núcleo duro’ do programa) e as idéias secundárias que cumprem o papel de proteger as idéias nucleares da falsificação pela experiência. A partir da análise de diferentes versões da teoria Gaia, será possível verificar se houve mudanças nas proposições nucleares e/ou nas hipóteses auxiliares desse programa de pesquisa, quais foram estas mudanças e se elas de algum modo acrescentaram idéias novas importantes à teoria. Caso seja verificada uma mudança na(s) proposição(ões) nuclear(es) da teoria Gaia, estaremos diante de um novo programa de pesquisa. Para a identificação de diferentes versões da teoria Gaia, será utilizado o seguinte critério: Uma transição de uma versão a outra da teoria será identificada com base em modificações de proposições incluídas no cinturão protetor ou com base na inclusão de novas proposições auxiliares, com o intuito de salvar o núcleo duro de uma falsificação. Uma simples inclusão de proposições novas no cinturão protetor da teoria Gaia não será considerada suficiente para que se postule uma mudança de versão da teoria, sendo entendida simplesmente como parte do desenvolvimento gradual deste cinturão, a não ser no caso, apontado acima, em que a introdução da proposição nova tenha o papel de desviar uma falsificação do núcleo duro. O fato de não considerarmos todas as alterações no cinturão protetor da teoria Gaia como desencadeadoras de uma mudança de

versão pode ser visto, de certo modo, como uma qualificação da metodologia proposta por Lakatos, em vista de este considerar um programa de pesquisa como “uma série de teorias conectadas entre si e que apresentam certa continuidade” (Lakatos, [1978]1995, p.47). Esta decisão metodológica, no entanto, parte do princípio de que “a seqüência de teorias características de um programa de pesquisa representam estágios do desenvolvimento dessa idéia” (Larvor, 1998, p. 54) e de que a suplementação do núcleo irredutível com suposições adicionais levaria ao “desenvolvimento de modelos cada vez mais complicados” (Lakatos, [1978]1995, p. 47). Sendo assim, a delimitação proposta para a mudança de versões, ainda que possa ser entendida como uma qualificação adicional, não parece ser incompatível com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos. Trata-se de postular-se o surgimento de uma nova versão da teoria Gaia apenas nos casos em que a modificação ou inclusão de uma dada proposição tenha realmente levado a teoria a um novo estágio de desenvolvimento e, consequentemente, a uma nova série de desafios a enfrentar.

(b) Análise do caráter progressivo ou degenerescente da teoria Gaia como um programa de pesquisa.

Após delimitar-se as versões da(s) teoria(s) Gaia e suas proposições nucleares e auxiliares, levando-se em consideração a heurística negativa (a convenção metodológica de que o núcleo duro de um programa de pesquisa deve ser mantido o mesmo durante todo o seu desenvolvimento) e a heurística positiva (que consiste em um conjunto de sugestões ou palpites sobre como desenvolver e modificar o cinturão protetor refutável de um programa), será realizada a análise do poder heurístico da teoria Gaia. Esta análise terá como base a quantidade de previsões novas, de fenômenos desconhecidos, derivadas desta teoria e a extensão da sua capacidade de explicar as suas refutações no decurso do seu desenvolvimento como um programa de pesquisa (Lakatos, [1978]1995, p.52).

Um ponto fundamental consiste na verificação de se a série de teorias que constitui o programa de pesquisa Gaia pode ser considerada teoricamente progressiva ou empiricamente progressiva. Para isso, deve-se realizar uma comparação entre as versões da teoria Gaia encontradas (caso exista mais de uma), verificando-se a existência de conteúdo

empírico adicional, na forma de previsões de fatos novos, e/ou a corroboração de parte desse conteúdo adicional a partir da base empírica da teoria. A existência de conteúdo empírico adicional na série de teorias que compõe o programa de pesquisa Gaia indicaria sua natureza progressiva em termos teóricos. A corroboração ocasional de pelo menos parte desse conteúdo empírico indicaria sua natureza progressiva em termos empíricos. Caso não se verifique nem uma coisa nem outra, a teoria Gaia deverá ser considerada um programa de pesquisa degenerescente.

(c) Avaliação da científicidade da teoria Gaia numa visão Lakatosiana.

A verificação do caráter progressivo ou degenerescente de Gaia como um programa de pesquisa é de extrema importância para esse trabalho, visto que o critério utilizado por Lakatos para considerar um programa de pesquisa como científico é o de que este deve apresentar uma alteração progressiva de problemas, ao menos teoricamente. Assim, após o resultado da análise anterior, existirão dados teóricos que justificarão a inclusão ou não da teoria Gaia no âmbito das ciências, desde uma perspectiva Lakatosiana. Observa-se que, para que se chegue a esta conclusão, toda uma caracterização do programa de pesquisa de Gaia terá de ser realizada. Os tópicos que seguem têm como objetivo destacar alguns dos potenciais progressos empíricos e teóricos desse programa de pesquisa, caso trate-se, de fato, de um programa progressivo.

(d) Avaliação do conteúdo empírico e da testabilidade da teoria Gaia.

Esse item consiste na busca de exemplos que demonstrem uma alteração teoricamente progressiva do programa de pesquisa de Gaia. Para isso, será verificado se, na seqüência dos textos analisados, aparecem conteúdos teóricos adicionais na forma de previsões de fatos novos. Esses conteúdos não precisam ser necessariamente corroborados empiricamente, visto que, em um deslocamento teórico de problemas consistentemente

progressivo, não há a exigência de que, a cada passo, se produza imediatamente um novo fato observado (Lakatos, 1995, pp. 48-49).

(e) Avaliação do conteúdo empírico corroborado da teoria Gaia.

Apesar de não existir a exigência de que todos os conteúdos empíricos testáveis sejam empiricamente corroborados, visto que um programa pode ser frustrado empiricamente por uma longa série de refutações antes que surjam hipóteses auxiliares engenhosas capazes de transformar uma seqüência de derrotas em uma história de sucesso, Lakatos considera que um programa de pesquisa deve apresentar, ao menos de vez em quando, um acréscimo de conteúdo corroborado. Assim, de acordo com Lakatos, um programa de pesquisa deve apresentar uma alteração empírica intermitentemente progressiva (Lakatos, 1995, pp. 48-49). Esse item consiste na procura de dados empíricos ao longo da leitura da bibliografia levantada que, de algum modo, tenham corroborado previsões oriundas da teoria Gaia. Caso se encontre algum tipo de conteúdo empírico corroborado na teoria Gaia, isso indicará o progresso empírico desse programa de pesquisa.

Capítulo III – Analisando a científicidade da Teoria Gaia

3. 1) Os Primeiros Indícios e a Versão Inicial da Teoria Gaia.

A Teoria Gaia é uma teoria recente, inicialmente proposta em meados da década de setenta do século XX. As primeiras conjecturas realizadas pelo seu proponente, James Lovelock, a respeito desta teoria ocorreram ainda na década de 1960, mais precisamente, no período em que ele trabalhou na NASA (The National Aeronautics and Space Administration of the USA), em parceria com Dian Hitchcock, em um projeto que buscava encontrar indícios de vida em outros planetas, principalmente em Marte. O interesse da NASA em verificar a possibilidade de existência de vida em Marte é justificado pelo fato de este planeta ser considerado, com exceção da Terra, o planeta do Sistema Solar mais

propício a apresentar vida. Lovelock e Hitchcock iniciaram seu trabalho com o seguinte questionamento: Caso houvesse vida em Marte, esta seria similar à vida na Terra? Para eles, não existia uma definição formal e operacional de vida que pudesse ser utilizada no reconhecimento de formas de vida possivelmente existentes em outros planetas, que poderiam ser diferentes da vida tal como a conhecemos na Terra, (Lovelock & Hitchcock, 1967a, p.56). Na falta desta definição formal de vida, Lovelock e Hitchcock decidiram procurar não necessariamente por seres vivos em Marte, mas por indícios de atividades características dos processos metabólicos da vida. Esses indícios seriam encontrados no ambiente físico-químico do planeta, visto que a vida é um membro da classe dos fenômenos, os quais são sistemas abertos ou de reação contínua capazes de diminuir sua entropia às custas de matéria e energia adquiridas do meio ambiente e subsequentemente devolvidas a este em uma forma degradada. Essa capacidade de diminuir a entropia é característica não apenas dos seres vivos, mas também de fenômenos como chamas e redemoinhos, entre outros. No entanto, a vida difere desses outros fenômenos, de acordo com Lovelock (Lovelock 1965, p. 568), devido à singularidade, à persistência e à magnitude da diminuição da entropia associada a ela.

Supondo que os organismos utilizariam, em qualquer planeta, a atmosfera, os oceanos (caso estes existam) e os solos como fontes de matéria-prima e depósitos de resíduos, Lovelock propôs, em 1965, alguns testes para a presença de vida num planeta. Esses testes se concentravam em aspectos tais como a procura de ordem em estruturas químicas, moléculas ou mesmo em seqüências ordenadas de sons que poderiam ser um forte indicativo de vida. A busca de ordem através de uma procura visual seria, de acordo com Lovelock, a forma mais eficaz de verificar a existência de vida em termos de um ordenamento. No entanto, ele considerava que, no estágio de desenvolvimento técnico da época, esta procura seria muito complexa. Um outro aspecto a partir do qual Lovelock desenvolveu testes para a presença de vida foi a busca de um estado de desequilíbrio, seja no solo, nos oceanos ou na atmosfera dos planetas estudados (Lovelock, 1965, pp. 568-569). Num destes testes, realizado por Hitchcock e Lovelock (1967), a idéia era comparar a composição química das atmosferas de Vênus, de Marte e da Terra, sendo esta última utilizada como controle, na condição de um planeta no qual a presença de vida é comprovada. Neste teste, utilizou-se uma perspectiva global, na qual todo o conjunto de

gases reativos constituintes da atmosfera foi considerado, de modo a tornar disponíveis informações que seriam inacessíveis caso cada gás fosse considerado separadamente, em isolamento (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 3). A base teórica do teste era simples: se um planeta não apresentasse vida, sua atmosfera seria determinada apenas pela física e pela química e, desse modo, estaria próxima ao estado de equilíbrio químico. Em contraste, a atmosfera de um planeta que contivesse seres vivos apresentaria uma espécie de ‘assinatura’ química característica, uma combinação especial de gases que poderia ser detectada até mesmo da Terra. Essa ‘assinatura’ seria um estado de constante desequilíbrio químico, causado pela retirada de matéria-prima e incorporação de resíduos metabólicos dos organismos.

A partir da necessidade de fazer uma análise comparativa das composições atmosféricas da Terra e de outros planetas, de modo a verificar se estes poderiam ou não apresentar vida, Lovelock teve a idéia de utilizar um detector de cromatografia a gás para tal empreitada. O cromatógrafo a gás seria, para Lovelock, o melhor instrumento de análise das porcentagens dos gases de atmosferas planetárias e, consequentemente, da presença ou ausência de vida em planetas, visto que existiria uma relação direta da biosfera com a atmosfera de seu planeta. Assim, um cromatógrafo a gás foi utilizado para verificar a composição da atmosfera terrestre na investigação realizada por ele e Hitchcock. Esta foi comparada com as composições das atmosferas de Vênus e Marte, obtidas pela utilização de um telescópio infravermelho, instrumento desenvolvido por Peter Fellgett e utilizado pela equipe francesa no observatório Pic de Midi, de modo a verificar se, em tais planetas, a existência de vida era possível (Lovelock, 1982, p.27).

Antes mesmo de iniciar este trabalho, Lovelock já demonstrava interesse em estudar a dinâmica dos gases, não em atmosferas, mas em sistemas biológicos, através de estudos onde buscava medir a afinidade de substâncias orgânicas por elétrons livres. O primeiro trabalho em que Lovelock utilizou a cromatografia a gás ou a captura de elétrons foi realizado no Instituto Nacional Para a Pesquisa Médica (*National Institute for Medical Research*) em Londres, na década de 1950. Neste período, Lovelock trabalhou em um projeto que estudava a preservação da vida em estado de congelamento. Nesse trabalho, foi observado que um fator chave na determinação da resistência de uma célula viva ao congelamento era a composição dos lipídeos de sua membrana celular. As células cujas

membranas lipídicas estavam altamente saturadas eram mais facilmente danificadas pelo congelamento do que as células com membranas ricas em ácidos graxos poli-insaturados. Os mecanismos disponíveis para a realização da análise de ácidos graxos no laboratório em que Lovelock estava trabalhando eram muito lentos e requeriam uma quantidade muito maior de amostras do material a ser analisado do que a disponível no laboratório. Lovelock passou, então, a trabalhar em parceria com os cientistas Archer Martin e Tony James, que haviam desenvolvido um cromatógrafo para analisar ácidos graxos (Lovelock, 1981, p.532). O cromatógrafo de Martin e James, apesar de funcionar muito bem na detecção de ácidos graxos, não era sensível o bastante para analisar as quantidades em microgramas necessárias para o trabalho de Lovelock (Lovelock, 1982, p.26). Assim, Lovelock, Martin e James passaram a trabalhar no desenvolvimento de uma série de detectores de ionização sensíveis, os quais eram necessários não só para responder ao problema dos ácidos graxos, mas também para a exploração das potencialidades da cromatografia a gás (Lovelock, 1981, p.532). Ao aplicar detectores de elétrons a componentes orgânicos, Lovelock passou a observar que a maioria dos seus experimentos mostrava que importantes intermediários ou coenzimas dos processos de transferência de energia da célula viva, além de algumas substâncias tóxicas a esses processos biológicos, apresentavam alta absorção de elétrons (Zlatkis & Lovelock, 1965, p.267). Na década de 1960, ele participou de vários trabalhos que procuravam verificar a afinidade de uma série de compostos orgânicos por elétrons. Esses trabalhos resultaram em artigos como: ‘Affinity of organic compounds for free electrons with thermal energy: its possible significance in biology’(Lovelock, 1961); ‘Affinity of polycyclic aromatic hydrocarbons for electron with thermal energies: its possible significance in carcinogenesis’ (Lovelock, Zlatkis & Becker, 1962); ‘Affinity of steroids for electrons with thermal energies’ (Lovelock, Simmonds & Vandenheuvel, 1963); e ‘Affinity of organic compounds for free electrons with thermal energy’(Zlatkis & Lovelock, 1965). À medida que a experiência de Lovelock e colaboradores na análise de diferentes espécies moleculares por captura de elétrons crescia, eles puderam verificar uma associação entre as atividades biológicas e a captura de elétrons. A grande maioria das substâncias que absorviam elétrons podia ser classificada em duas categorias: (1) aquelas que eram importantes componentes dos sistemas biológicos de transporte de energia e (2) aquelas que eram altamente tóxicas ou carcinogênicas. Segundo Lovelock, era tentador

especular que os elétrons livres poderiam ser partículas fundamentais da biologia, assim como da química e da física. Ele observou, por exemplo, que cada ácido envolvido no ciclo de Krebs fazia parte do conjunto de poucos componentes orgânicos que reagiam vigorosamente com elétrons livres (Lovelock, 1981, p.533) A possibilidade de que essas informações fossem mais do que coincidência sugeriu, segundo Lovelock e Zlatkis, que os intermediários e as coenzimas que absorvem elétrons e participam dos processos de transferência de energia das células vivas funcionam como uma seqüência ordenada de armadilhas reversíveis de elétrons (Zlatkis e Lovelock, 1965, p.267). Ainda segundo Lovelock, apesar de não estar claro até que ponto essas associações seriam reais ou apenas coincidências, não haveria dúvidas de que uma proporção incrivelmente alta de substâncias que absorvem elétrons é biologicamente ativa e isso tornaria o detector de elétrons um aparelho importante para a ciência ambiental (Lovelock, 1981, p.533).

Na visão de Lovelock (Lovelock, 2001, p. 191), o desenvolvimento do Detector de Captura de Elétrons (DCE), em 1957, foi o evento mais importante de sua vida como cientista. Este aparelho, tão pequeno que cabe na palma da mão, foi, para Lovelock, um dos fatores que estimularam o crescimento do incipiente movimento ambientalista. Sem ele, não teria sido descoberto que os pesticidas organoclorados, como DDT e dieldrin, haviam espalhado-se por todas as partes do mundo, nem teria sido possível identificar quantidades-traço de outros poluentes importantes, como os policlorobifenis (PCBs) (*polychlorbiphenyls*), os clorofluorcarbonos e o óxido nítrico. Ainda segundo Lovelock, sem o DCE, o surgimento dos ambientalistas e políticos ambientais teria sido adiado por cerca de dez anos (Lovelock, 2001, p. 191). Ao descobrir o DCE, Lovelock não fazia idéia do quanto ele iria mudar o mundo e mesmo a sua própria vida, ao possibilitar sua independência como cientista e, consequentemente, torná-lo livre para conscientizar-se de Gaia (Lovelock, 2001, pp. 191-192). A natureza simples e barata deste aparelho o tornou atraente para cientistas trabalhando em áreas que iam desde a meteorologia até a geologia. Isso contribuiu para que Lovelock atravessasse as fronteiras das disciplinas científicas. Segundo Lovelock, ao mostrar a tais cientistas como utilizar o DCE, era possível para ele, em retorno, discutir com eles a teoria Gaia no contexto de suas próprias disciplinas:

“Quando eu lhes mostrava como usá-lo para resolver seus problemas, isso tornava possível para mim, em retorno, discutir com eles a teoria Gaia no contexto de suas próprias

disciplinas. Desse modo, o EDC foi um passaporte que me possibilitou atravessar as fronteiras das disciplinas científicas, as quais, de outro modo, são protegidas de maneira tão enciumada quanto as fronteiras nacionais” (Lovelock, 2001, pp. 191-192).¹¹

O DCE cumpriu um papel importante nas investigações realizadas por Lovelock e Hitchcock para a NASA, na década de 1960. Como resultado da comparação entre as composições químicas das atmosferas de Vênus, Terra e Marte, eles observaram grandes diferenças. 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). Nas duas 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. Já na atmosfera terrestre, o nitrogênio (79%) e o oxigênio (21%) são os gases dominantes, enquanto o dióxido de carbono contribui com apenas 0,03%. Além desses componentes, são 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). Observa-se 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 química. No entanto, esta situação de instabilidade ou desequilíbrio, contrariando todas as probabilidades, se mantém na atmosfera terrestre há um longo período de tempo. Os resultados obtidos nesse estudo levaram Lovelock à conclusão de que seria praticamente impossível existir vida nos planetas Marte e Vênus, visto que as atmosferas desses planetas se apresentam bastante próximas a um estado de equilíbrio químico. Assim, a Terra diferia enormemente dos seus vizinhos mortos, Vênus e Marte (Lovelock, 1988[1995], p. 5-7).

O fato de a instabilidade da atmosfera terrestre ser mantida constante por um período tão longo de tempo foi um dos principais pontos que levaram Lovelock a conceber o que denominou ‘hipótese Gaia’; afinal, por ser uma mistura altamente reativa, a

¹¹ “When I showed them how to use it to solve their problems it made it possible for me in return to discuss with them Gaia theory in the context of their own discipline. In this way EDC was a passport that let me cross the frontiers of scientific disciplines which otherwise are guarded as jealously as national boundaries”.

atmosfera terrestre, caso não sofresse interferências por parte da biosfera, tenderia a reverter rapidamente sua composição para uma composição de estado inerte característica de um planeta sem vida (Lovelock, 1982, p.28). A biosfera teria, desse modo, a função de regular a composição atmosférica. Essa idéia inicial da biosfera como um sistema capaz de modificar as condições da superfície e da atmosfera terrestres de modo a alcançar um ambiente ótimo para ela própria aparece em um trecho do artigo em que Lovelock e Hitchcock (1967) apresentaram a análise da atmosfera de Marte como um meio de verificar a existência de vida naquele planeta:

“[...] É uma propriedade ubíqua da vida crescer até que o suprimento de materiais e energia estabeleça um limite, e isso se aplica a um planeta como um todo tanto quanto ao crescimento de microorganismos em um tubo de ensaio. Além disso, um estado constante ecológico é estabelecido sobre todo o planeta, no qual a superfície e a atmosfera são moldadas e modificadas para condições que são ótimas para a manutenção de todo o conjunto de criaturas vivas. Assim como um animal é um conjunto cooperativo de células vivas, também um planeta pode ser considerado como uma entidade viva compreendendo um conjunto cooperativo de espécies” (Lovelock & Hitchcock, 1967, p.57).¹²

Um outro aspecto que chama a atenção, tanto nos trabalhos de Lovelock em parceria com Hitchcock quanto em todos os trabalhos de Lovelock a respeito da teoria Gaia realizados a partir da década de 1960, é a visão global do planeta assumida, que se mostra como algo essencial para o desenrolar de todas as discussões realizadas acerca desta teoria. Este tipo de visão aparece de forma clara, seja no momento em que Lovelock considera que a composição atmosférica da Terra apresenta algo mais complexo do que uma simples determinação das leis físico-químicas em sua formação, seja no momento em que ele, ao tentar compreender por que a temperatura da Terra apresenta uma estabilidade desde o surgimento da vida, propõe que existiria algum tipo de mecanismo, incluindo a biosfera e fatores físicos químicos envolvidos em tal processo. Como veremos mais adiante, o modo

¹² “[...] It is a ubiquitous property of life to grow until the supply of materials and energy set a limit, and this applies to a whole planet just as much as to the growth of micro-organisms in a test tube. Furthermore, an ecological steady state is established over the whole planet in which the surface and atmosphere are moulded and changed to conditions which are optimum for the maintenance of the entire assembly of living creatures. Just as an animal is a co-operative assembly of living cells, so a planet can be considered as a living entity comprising a co-operative assembly of species”.

pelo qual a biosfera está envolvida na dinâmica da Terra será questionado e sofrerá algumas modificações ao longo do desenvolvimento da teoria Gaia. Questões concernentes à relação entre Gaia, a biosfera e o planeta Terra também surgirão com o desenvolvimento da estrutura da teoria. A visão do planeta Terra como uma unidade e as analogias que Lovelock passa a fazer da Terra com os organismos vivos também são aspectos que aparecerão em praticamente todos os trabalhos de Lovelock e terão sua importância analisada neste trabalho – sendo discutida sua posição na estrutura da teoria Gaia como algo essencial (parte de seu núcleo duro) ou acessório (localizando-se no cinturão protetor). Além disso, estudos de mecanismos de controle como aqueles da composição atmosférica, da temperatura do planeta Terra e dos ciclos de gases como o carbono, enxofre, oxigênio e nitrogênio serão bastante desenvolvidos e trarão novas evidências do valor teórico e empírico de Gaia, podendo propiciar sua qualificação como uma teoria científica.

A capacidade da Terra de manter uma temperatura média constante, apesar das modificações que ocorreram na composição de sua atmosfera e do aumento da intensidade da luminosidade solar, foi mais um fator que influenciou na atribuição por Lovelock de uma função reguladora do ambiente físico-químico do planeta à biosfera. Evidências indicam que, aparentemente, a temperatura de nosso planeta não sofreu alterações significativas pelo menos nos últimos 3,6 bilhões de anos. Mesmo as mudanças climáticas ocorridas com as grandes glaciações não teriam sido tão abruptas, como sugerem evidências de que a temperatura média das regiões tropicais não foi, naqueles períodos, mais do que 8°C menor do que aquela observada durante os períodos interglaciais (Margulis & Lovelock 1974). É preciso considerar, ainda, a possibilidade de que o planeta tenha até mesmo sofrido um processo de resfriamento. Knauth e Epstein (1976, citados por Lovelock & Watson 1982) sugerem que o clima no Arqueano era mais quente do que o clima atual da Terra. Essas observações se tornaram intrigantes diante de estudos astrofísicos mostrando que o Sol aumentou sua luminosidade e produção de calor em cerca de 25% desde a origem da vida (Lovelock 1990). Por esta razão, Lovelock considerou que o clima da Terra seria, assim como a composição química da atmosfera,ativamente regulado.

É possível identificar, no final da década de 1960, os primeiros germes da teoria Gaia surgindo nos trabalhos de Lovelock. Dentre estes, estão idéias como a influência da

biosfera sobre os fatores ambientais da Terra e evidências sugerindo que uma visão mais holística do planeta seria essencial para uma melhor compreensão de sua dinâmica. Essas idéias iniciais tiveram um papel fundamental no processo de construção da primeira versão da teoria Gaia, apresentada por Lovelock em 1972.

Antes da publicação da primeira versão de sua teoria, Lovelock publicou artigos em que idéias relacionadas a ela apareciam de forma cada vez mais evidente. Nestes artigos, a maioria de natureza empírica, Lovelock já tinha a preocupação de verificar a existência de uma relação da biosfera com, por exemplo, a regulação da concentração de determinados gases na atmosfera. Em um desses artigos, ‘Air Pollution and Climatic Change’, publicado em 1971, Lovelock discorre sobre evidências indicando mudanças climáticas globais da Terra e sobre a possibilidade de que modificações na composição atmosférica tivessem sido as causas dessas mudanças climáticas. Ele discute essas idéias a partir das premissas de que a atmosfera é um sistema cibernetico¹³ biológico e de que as emissões por combustão constituem uma perturbação desse sistema (Lovelock, 1971, p.403). Para fundamentar seu argumento, apresenta um possível sistema cibernetico de controle da temperatura do planeta Terra, que, apesar do aumento da taxa de CO₂ (gás estufa que leva ao aumento da

¹³ O conceito de ‘sistema cibernetico’ ou ‘de controle’ aparece em praticamente todos os trabalhos de Lovelock. Um sistema cibernetico, segundo ele, é um sistema que consiste em algo mais do que a soma das suas partes e é caracterizado por uma circularidade, não sendo possível, por isso, aplicar as idéias de causa e efeito à sua compreensão, visto que seria impossível descobrir qual delas viria em primeiro lugar. Ainda segundo Lovelock, nenhuma compreensão do modo de ação de um sistema cibernetico poderia ser adquirida a partir da separação das suas partes componentes, uma vez que estes sistemas, assim como a própria vida, seriam mais do que a mera união de suas partes constituintes (Lovelock, [1979] 2000, p.48). A definição de sistema cibernetico apresentada por Lovelock, no entanto, tem um cunho marcadamente pessoal, não se mostrando totalmente compatível com o significado atribuído ao termo no meio científico. A palavra cibernetica foi cunhada por Norbert Wiener, matemático, engenheiro e filósofo social, a partir de uma palavra grega que significava timoneiro. Wiener definiu a cibernetica como a ciência da comunicação e do controle entre animais e máquinas. Atualmente, o termo ‘cibernetica’ tem sido utilizado para referir-se a um acesso interdisciplinar à organização de um sistema material. Enquanto a teoria geral dos sistemas está comprometida com o holismo, por um lado, e com um esforço para generalizar as características estruturais, comportamentais e de desenvolvimento dos organismos, por outro, a cibernetica se compromete com uma perspectiva epistemológica que entende as totalidades materiais como analisáveis, sem perda, em termos de um conjunto de componentes de um sistema, somado à sua organização. Na cibernetica, as teorias se apoiam em quatro pilares básicos: variedade, circularidade, processo e observação. A variedade é fundamental para as teorias ciberneticas da informação, da comunicação e do controle e enfatiza multiplicidade, alternativas, diferenças, escolhas, redes (*networks*) e inteligência, em lugar das idéias de força e necessidade singular. A circularidade se expressou inicialmente em teorias de causação circular ou retroalimentação, posteriormente, em teorias de recursão e reiteração, e, finalmente, em teorias envolvendo a auto-referência em organização cognitiva e sistemas autônomos de produção (como na teoria da autopoiese). É esta forma circular que possibilitaria à cibernetica explicar os sistemas desde dentro, sem fazer uso de princípios mais altos ou propósitos *a priori* e sem expressar preferência por hierarquia (<http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/CYBERNETICS.html>).

temperatura do planeta) em sua atmosfera, estaria conseguindo manter uma temperatura constante, quando o esperado seria um aumento da mesma. Desse sistema cibernético, fariam parte a biosfera e os fatores ambientais. O mecanismo então proposto por Lovelock consistia na idéia de que a liberação de aerossóis, tanto como resultado da combustão quanto por intermédio da biosfera, levaria a uma turbidez da atmosfera e amenizaria a incidência da luz solar sobre o planeta. Com isso, haveria uma regulação do efeito de aquecimento planetário proveniente da liberação de CO₂ e, consequentemente, do efeito estufa associado a este gás. Naquele artigo, Lovelock discute a poluição da atmosfera por CO₂ proveniente da combustão, o esperado aumento da temperatura do planeta em conseqüência disso e a verificação de que, na época, isso não estava ocorrendo. O fato de os aerossóis serem não apenas produtos da combustão, mas também resultarem de uma constante produção pela biosfera, mostraria, para Lovelock, que esta estaria interferindo diretamente na regulação do aquecimento planetário. Assim, poder-se-ia considerar que a biosfera estaria atuando como um sistema cibernético de regulação da temperatura do planeta, de modo a corrigir o aumento do efeito estufa (Lovelock, 1971, p. 410). Esta constatação aparece como um conteúdo empírico excedente do trabalho de Lovelock. Este conteúdo não estava relacionado, então, com a teoria Gaia, que ainda não havia sido sequer proposta. No entanto, ele foi incorporado posteriormente a esta teoria.

3.2) A Primeira Versão da Teoria Gaia

Apesar de as idéias de regulação da dinâmica planetária pela biosfera e da Terra como uma entidade viva estarem presentes nos artigos publicados por Lovelock até o ano de 1972, estes artigos não se referem diretamente à teoria Gaia. Esta foi apresentada pela primeira vez para a comunidade científica, de maneira estruturada, numa carta publicada pela revista *Atmospheric Environment* – ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’ (Lovelock, 1972, p.579-580). Com a apresentação desta primeira versão da teoria Gaia, sugeria-se a possibilidade de um novo programa de pesquisa, cuja científicidade dependeria, de uma perspectiva lakatosiana, de sua capacidade de apresentar uma transferência progressiva de problemas, com a constante produção de conteúdo empírico excedente e a eventual corroboração de pelo menos parte das previsões novas feitas. Um aspecto fundamental para o estabelecimento de um programa de pesquisa a partir da

publicação da teoria Gaia diz respeito à adesão de outros pesquisadores a ele, e, como será discutido posteriormente, essa teoria sofreu inicialmente grande discriminação por parte da comunidade científica. A análise do desenvolvimento da teoria Gaia, desde a sua primeira apresentação na carta ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’, mostrará o percurso desta como um programa de pesquisa e verificará o alcance das novidades teóricas e empíricas produzidas ao longo dos anos, a partir dessa teoria. Essa análise deverá permitir que cheguemos a uma conclusão quanto à científicidade da teoria Gaia, desde uma perspectiva lakatosiana.

Na carta ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’, Lovelock apresenta a teoria Gaia como a proposição de que a vida, a biosfera como um todo, é capaz de controlar o meio ambiente de modo a adaptá-lo às suas necessidades:

“O objetivo desta carta é sugerir que a vida, em um estágio primitivo de sua evolução, adquiriu a capacidade de controlar o ambiente global de modo a adaptá-lo às suas necessidades e que esta capacidade tem persistido e ainda está em uso ativo. Nesta visão, a soma total das espécies é mais do que apenas um catálogo, ‘A biosfera’, como outras associações em biologia, é uma entidade com propriedades maiores do que a simples soma das suas partes. Tal vasta criatura, mesmo que apenas hipotética, com a poderosa capacidade de manter a homeostase do ambiente planetário, precisa de um nome; eu estou em dúvida com Mr. William Golding pela sugestão do uso da personificação da mãe Terra, ‘Gaia’” (Lovelock, 1972, p.579).¹⁴

Observa-se neste trecho que Lovelock agradece ao escritor William Golding pela sugestão do termo ‘Gaia’, a personificação da mãe Terra, para designar sua teoria. Essa denominação, no entanto, contribuiu para a grande controvérsia que se estabeleceu em torno da teoria de Lovelock, uma vez que parece conferir uma suposta legitimidade à interpretações animistas da teoria Gaia. O ‘animismo’ pode ser entendido como uma “teoria filosófica que considera a alma como causa primária de todos os fatos intelectuais e vitais” (Silveira Bueno, 2000, p. 65). Uma interpretação animista de Gaia muito comum consiste

¹⁴ “The purpose of this letter is to suggest that life at an early stage of its evolution acquired the capacity to control the global environment to suit its needs and that this capacity has persisted and is still in active use. In this view the sum total of species is more than just a catalogue, ‘The biosphere’, and like other associations in biology is an entity with properties greater than the simple sum of its parts. Such a large creature, even if only

em atribuir à entidade descrita por esta teoria características presentes na deusa grega Gaia, o que envolveria a idéia da existência de uma alma na Terra.

Considerando-se o trecho citado acima, é possível identificar o núcleo duro do programa de pesquisa de Gaia, conforme sugerido em sua primeira apresentação. Lovelock deixa claro que sua teoria atribui grande poder à biosfera. Ela estaria diretamente ligada ao controle da dinâmica planetária, tendo a capacidade de agir de modo a manter o planeta em homeostase e, além disso, de maneira a adaptar o ambiente global às suas próprias necessidades, sugerindo uma interpretação homeostática e teleológica dos mecanismos propostos pela teoria. É interessante observar que, neste trabalho, o termo ‘Gaia’ é utilizado como um sinônimo de biosfera, designando, nas palavras de Lovelock, uma ‘vasta criatura’. Gaia é considerada uma entidade formada pela associação da totalidade das espécies vivas, apresentando propriedades que ultrapassam a soma de suas partes e mostrando-se capaz de manter o planeta em homeostase. Podemos então identificar, em princípio, a idéia de Gaia como um sistema capaz de controlar o meio ambiente da Terra de modo a mantê-lo em homeostase, satisfazendo as necessidades adaptativas da biosfera, como uma das idéias principais que caracteriza a estrutura da teoria, conforme apresentada por Lovelock em 1972. Esta proposição constituiria, assim, parte do núcleo duro da teoria Gaia, em sua primeira versão. Ainda no núcleo duro desta versão da teoria, duas qualificações da proposição acima desempenham um papel importante, consistindo nas noções de homeostase e teleologia, envolvidas na caracterização do sistema proposto pela teoria. Ao colocar os termos ‘Gaia’ e ‘biosfera’ como sinônimos e postular que Gaia, *como outras associações em biologia*, constitui um sistema cujas propriedades ultrapassam as propriedades de suas partes, Lovelock sugere, desde a primeira versão de sua teoria, que Gaia deve ser entendida como uma entidade viva. Esta atribuição de vida a Gaia, no entanto, faz com que se torne necessária uma caracterização do que seria um ser vivo e de quais atributos Gaia apresentaria para poder ser incluída nesta categoria. A necessidade de considerar-se Gaia como sinônimo de biosfera, e, mais do que isso, como uma entidade viva aparece, então, como uma hipótese auxiliar, situando-se no cinturão protetor da teoria. Apesar de Lovelock afirmar, no trecho citado acima, que Gaia é uma entidade hipotética, a

hypothetical, with the powerful capacity to homeostat the planetary environment needs a name; I am indebted to Mr. William Golding for suggesting the use of the Greek personification of mother Earth, “Gaia””.

continuação da sua carta mostra que ele procura justificar a existência de Gaia como uma entidade viva. Para isso, ele utiliza uma definição fenomenológica de vida, segundo a qual deve ser considerada viva qualquer entidade capaz de manter uma temperatura constante e uma composição química compatível em um meio ambiente que está mudando ou é perturbado. Com base nesta definição, ele afirma que, caso Gaia apresente tais propriedades, poderá ser considerada uma entidade viva:

“Até o momento não existe um enunciado físico formal da vida, a partir do qual um teste exclusivo possa ser planejado para provar a presença de ‘Gaia’ como uma entidade viva. Felizmente, tal rigor não é usualmente esperado em biologia e pode ser que a natureza estatística dos processos da vida torne tal abordagem estéril. No presente, a maioria dos biólogos pode ser convencida de que uma criatura é viva por argumentos derivados de evidências fenomenológicas. A habilidade persistente de manter uma temperatura constante e uma composição química compatível em um ambiente que está mudando ou é perturbado, caso mostrado por um sistema biológico, seria usualmente aceita como evidência de que este é vivo. Vamos considerar a evidência dessa natureza que apontaria para a existência de Gaia” (Lovelock, 1972, p.579).¹⁵

No trecho acima, Lovelock afirma que, para um teste exclusivo ser proposto de modo a provar a existência de Gaia, seria necessária uma definição formal de vida. No entanto, ele mesmo assume que, até aquele momento, um enunciado físico formal da vida era inexistente. Assim, para poder considerar a associação da totalidade das espécies da Terra como viva, visto que Gaia e biosfera são consideradas sinônimos, Lovelock lança mão de argumentos derivados de evidências fenomenológicas que permitiriam, em sua visão, que Gaia fosse entendida como uma entidade viva. Uma maneira de se conservar a proposição de que a Terra é viva na teoria Gaia seria considerá-la como uma teoria sintaticamente metafísica a qual, segundo os critérios de Lakatos, é conservada enquanto as suas instâncias problemáticas puderem ser explicadas por modificações que resultem em

¹⁵ “As yet there exists no formal physical statement of life from which an exclusive test could be designed to prove the presence of ‘Gaia’ as a living entity. Fortunately such rigour is not usually expected in biology and it may be that the statistical nature of life processes would render such an approach a sterile one. At present most biologists can be convinced that a creature is alive by arguments drawn from phenomenological evidence. The persistent ability to maintain a constant temperature and a compatible chemical composition in an environment which is changing or is perturbed if shown by a biological system would usually be accepted

aumento do conteúdo das hipóteses auxiliares ligadas a ela (Lakatos, [1978]1995, p. 41). A caracterização de Gaia como uma entidade viva, no entanto, não interfere necessariamente nas idéias nucleares da teoria, que consistem na proposição da existência de um sistema capaz de controlar o meio ambiente da Terra de modo a mantê-lo em homeostase e satisfazer as necessidades adaptativas da biosfera. Esta caracterização parece funcionar como um meio de relacionar o sistema apresentado na teoria Gaia com aspectos da realidade, como a habilidade persistente de manter uma temperatura constante, que estaria presente tanto em Gaia quanto nos seres vivos. O argumento de que Gaia é uma entidade viva entra, portanto, na teoria como uma hipótese auxiliar, fazendo parte de seu cinturão protetor, funcionando como uma ponte entre a teoria e a realidade. A atribuição de vida a Gaia, como parte das hipóteses auxiliares da teoria, se torna mais clara quando, em trabalhos posteriores, Lovelock passa a modificar esta hipótese auxiliar, atribuindo uma quase-vida (Lovelock, [1991]2000) a Gaia e mesmo afirmando que a idéia de uma Gaia viva não passaria de uma analogia (Lovelock, 1988), (Lovelock, [1991]2000).

Outro aspecto a ser discutido é a afirmação de Lovelock de que o rigor necessário para uma definição formal de vida não é esperado na biologia. Essa visão está associada à idéia de que a biologia é uma ciência ‘mole’ (*soft science*), de natureza fundamentalmente diferente, e menos rigorosa, do que ciências duras (*hard sciences*) como a física e a química. A biologia seria uma ciência na qual não se mostraria necessário muito apuro. Tal idéia a respeito das ciências biológicas pode ser proveniente do fato de que grande parte dos biólogos ignoram a questão da definição de vida, seja por considerá-la muito difícil, seja por acreditar que uma definição de vida não apresenta qualquer importância prática para a ciência (Lima-Tavares & El-Hani, 2001, p. 73). A ausência aparente de uma definição formal de vida parece permitir que Lovelock relaxe sua discussão, ao argumentar que, já que não há definição formal, então seria possível basear-se apenas em evidências fenomenológicas. Contrariando esta idéia de Lovelock, no entanto, temos trabalhos teóricos que apresentam definições de vida com base em paradigmas da biologia. Emmeche & El-Hani (2000), por exemplo, consideram que, ao deixar-se de lado o procedimento de simplesmente listar características, concebendo-se a tentativa de definir vida em termos de

as evidence that it was alive. Let us consider the evidence of this nature which would point to the existence of Gaia”.

uma explicitação das relações desse conceito com os demais conceitos que são parte de um ou mais paradigma biológicos, pode-se perceber que não apenas é possível definir vida como já existem na biologia pelo menos três definições de vida satisfatórias. Estas definições estão concentradas na teoria da autopoiese, na biologia evolutiva neodarwinista e na biossemiótica (Emmeche, 1997; Emmeche & El-Hani, 1999, 2000). Assim, os argumentos apresentados por Lovelock sobre a inexistência de definições formais de vida na biologia e seu posicionamento de descrença em relação ao rigor desta ciência são infundados.

No livro *Gaia, a New Look at Life on Earth*, é possível verificar a mesma preocupação de Lovelock em encontrar indícios que provem a existência de Gaia como uma entidade viva. Logo no início do livro, ele afirma que seu principal objetivo é procurar evidências da existência de Gaia:

“Este livro também é sobre a busca de vida e a procura por Gaia é uma tentativa de encontrar a maior criatura viva sobre a Terra” (Lovelock, [1979] 2000, p. 1).¹⁶

Para ele, caso fossem encontradas evidências da existência de Gaia, verificar-se-ia a existência de um vasto ser com a capacidade de manter o planeta como um habitat apropriado e confortável para a vida. Este ser seria constituído pela união e parceria de todas as coisas vivas:

“Mas se Gaia realmente existe, então nós podemos descobrir que nós mesmos e todas as outras coisas vivas somos partes e parceiros de um vasto ser que, em sua inteireza, tem o poder de manter o nosso planeta como um habitat apropriado e confortável para a vida” (Lovelock, [1979] 2000, p. 1).¹⁷

A partir da análise dos trechos acima, é possível verificar que a hipótese auxiliar de que a entidade descrita na teoria Gaia é um ser vivo, introduzida no primeiro trabalho de Lovelock acerca de sua teoria, é mantida no seu primeiro livro a respeito da mesma. Ainda com relação aos trechos acima, é possível verificar uma diferenciação entre Gaia e o

¹⁶ “This book also is about search for life, and the quest for Gaia is an attempt to find the largest living creature on Earth”.

¹⁷ “But if Gaia does exist, then we may find ourselves and all other living things to be parts and partners of a vast being who in her entirety has the power to maintain our planet as a fit and comfortable habitat for life”.

planeta Terra, visto que Gaia aparece como uma criatura que estaria presente na Terra e não como a própria Terra. No decorrer da análise, será possível verificar que o termo ‘Gaia’, em diferentes passagens de trabalhos de Lovelock, é apresentado como sinônimo de ‘Terra’, de ‘biosfera’ e, inclusive, de ‘vida’. Uma outra idéia que surge neste livro de Lovelock e que vai ser desenvolvida durante a trajetória da teoria é a proposição de que Gaia seria um super-organismo. Temos neste livro mais uma proposição auxiliar – a de que Gaia é o maior ser existente na Terra. Essa idéia, no entanto, não é mantida em todos os trabalhos de Lovelock, visto que, como será discutido abaixo, em alguns momentos ele apresenta Gaia como sinônimo de biosfera, em outros, como um super-organismo que habitaria a Terra, e, ainda em outros, como sinônimo de Terra. Neste último caso, o super-organismo Gaia consistiria no próprio planeta Terra.

No artigo ‘*Gaia’s complaint: a practitioner of planetary medicine examines the Earth*’ (1988), Gaia novamente aparece como sendo viva, mas agora ela não é mais considerada como um organismo que vive sobre a Terra, mas como a própria Terra. A entidade Gaia ou o planeta Terra passa a ser considerada um super-organismo vivo que evolui. A idéia de super-organismo também aparece quando Lovelock faz uma analogia entre a necessidade de estudar tanto os seres vivos quanto o super-organismo Terra através da fisiologia:

“A teoria Gaia é sobre a evolução de um planeta vivo. Quando bioquímicos examinam um animal vivo, eles sabem que muitas das suas reações e dos seus processos podem ser adequadamente descritos por simples física e química determinística. Mas eles também aceitam a legitimidade da fisiologia. Eles sabem que, para um animal intacto, a homeostase, a regulação automática da temperatura e da composição química, ainda que envolva química, é uma propriedade emergente. O todo é mais importante do que a soma das partes. Tais propriedades requerem fisiologia para sua explicação e compreensão. Eu acredito que o mesmo pode ser dito sobre a Terra. Se ela é um super-organismo, então sua explicação requer fisiologia, assim como química e física”(Lovelock, 1988, p. 266).¹⁸

¹⁸ “*Gaia theory is about the evolution of a living planet. When biochemists examine a live animal they know that many of its reactions and processes can be adequately described by simple deterministic physics and chemistry. But they also accept the legitimacy of physiology. They know that for an intact animal, homeostasis, the automatic regulation of temperature, and chemical composition, although it involves chemistry, is an emergent property. The whole is more than the sum of the parts. Such properties require*

É interessante notar que, neste artigo, aparecem outras afirmações que podem ser situadas no cinturão protetor da teoria Gaia, como, por exemplo, a idéia de que Gaia e Terra são sinônimos e a proposição de que o sistema descrito pela teoria é caracterizado por ‘propriedades emergentes’. Lovelock explica as propriedades emergentes com base apenas na afirmação de que o todo é mais do que a soma das partes, sem reconhecer e discutir uma série de problemas filosóficos associados ao conceito de emergência (ver Lima-Tavares & El-Hani 2001). Estas hipóteses auxiliares, como veremos ao longo da análise, estão presentes nos trabalhos desenvolvidos por Lovelock desde a década de 1970. Uma outra idéia que surgiu como resultado de modificações no cinturão protetor da teoria Gaia a partir da década de 1980 foi a de que Gaia deveria ser estudada por meio de métodos fisiológicos. Como poderá ser constatado no desenrolar desse trabalho, a teoria Gaia sofreu uma modificação muito importante em sua estrutura a partir da década de 1980, quando o papel da biosfera deixou de ser o fator principal do sistema gaiano e os fatores físico-químicos envolvidos neste sistema alcançaram o mesmo patamar de importância no estabelecimento de uma auto-regulação ao nível planetário. A partir dessa mudança em seus argumentos, Lovelock desenvolveu um novo termo para designar Gaia (‘geofisiologia’), passando a enfatizar em sua teoria a necessidade de um estudo geofisiológico de Gaia, com base em uma analogia com os estudos fisiológicos dos organismos vivos. Algumas analogias interessantes entre os organismos vivos e Gaia, concernentes à capacidade de alcançar e manter um estado de homeostase e à capacidade de regular a temperatura, desenvolvidas por Lovelock neste artigo, parecem confirmar que a atribuição de vida a Gaia teria surgido como uma maneira de criar uma ponte entre a teoria Gaia e a realidade. Aspectos como a capacidade de regulação da temperatura ou a capacidade de manter ativamente a composição química constante em face das perturbações, existentes tanto no planeta Terra quanto nos organismos vivos, funcionam como base para tais analogias. Outras analogias, como será discutido posteriormente, são feitas entre Gaia e organismos específicos, como bactérias, árvores etc., e mesmo entre Gaia e ecossistemas.

Ainda quanto à questão da atribuição de vida a Gaia, em um livro publicado por Lovelock em 1988, *The Ages of Gaia*, observamos importantes modificações na maneira

physiology for their explanation and understanding. I think the same can be said of the Earth. If it is a super-organism, then its explanation requires physiology as well as chemistry and physics”.

como é proposta a analogia entre Gaia e vida. Neste livro, Lovelock faz questão de enfatizar que, ao contrário do que ocorreu em seu primeiro livro, *Gaia: a New Look at Life on Earth*, a noção de que a Terra é viva é reconhecida apenas em um sentido fisiológico:

“A noção de que a Terra é viva, tão ofensiva aos biólogos, eu agora reconheço como verdadeira apenas em um sentido fisiológico” (Lovelock [1988]1995, p. 11).¹⁹

Como podemos observar, a idéia de fisiologia a um nível planetário é novamente enfatizada. Além disso, desta vez Lovelock deixa claro que a idéia de que a Terra é viva tem um papel acessório na teoria Gaia, visto que ela aparece como uma forma de justificar a importância de um estudo em termos fisiológicos do sistema auto-regulatório proposto pela teoria. Ele continua, no entanto, a enfatizar a importância de tentar-se compreender o conceito de vida, visto que o conceito de Gaia estaria inteiramente ligado a ele:

“O conceito de Gaia é inteiramente ligado ao conceito de vida” (Lovelock, [1988]1995, p. 16).²⁰

Em artigos como ‘Are we destabilising the world climate? ‘The lessons of Geophysiology’ (1985) e ‘Geophysiology: a new look at life on Earth Science’ (1986), Lovelock não mais apresenta Gaia como uma entidade viva, mas como uma entidade quase-viva, capaz de gerar uma homeostase global:

“A teoria Gaia sugere que nós habitamos e somos parte de uma entidade quase-viva que tem a capacidade de uma homeostase global” (Lovelock, 1985, p. 53; 1986a, p. 395).²¹

Novamente, a associação entre os conceitos de vida e Gaia por meio de analogias, como aquela baseada na capacidade de manter-se em homeostase, aparece de modo mais preponderante que a definição da Terra como um ser vivo. Ao contrário do que Lovelock afirmava em seus artigos da década de 1970, a Terra não precisaria ser viva para ser considerada uma entidade real. A atribuição de quase-vida à Terra ou mesmo a visão de Gaia como viva apenas em um sentido fisiológico seria suficiente para a compreensão da teoria. A relação entre os conceitos de Gaia e vida baseada nestes dois critérios também aparece no terceiro livro publicado por Lovelock, *Gaia: the practical science of planetary*

¹⁹ “The notion that the Earth is alive, so offensive to biologists, I now recognize as true only in a physiological sense”.

²⁰ “The concept of Gaia is entirely linked with the concept of life”.

²¹ “Gaia theory suggests that we inhabit and are part of a quasi-living entity that has the capacity for global homeostasis”.

medicine. Este livro considera a Terra como um corpo planetário que, de algum modo, seria vivo e poderia apresentar tanto um estado de saúde quanto de doença (Lovelock, [1991]2000, p. 6). A qualificação ‘de algum modo’ parece trazer consigo, de maneira implícita, os critérios a partir dos quais a Terra poderia ser considerada como quase-viva ou viva apenas em sentido fisiológico. Lovelock apresenta Gaia como um sistema fisiológico único, considerado como uma entidade viva, ao menos na medida em que é capaz de auto-regulação:

“Gaia é o nome da Terra vista como um sistema fisiológico único, uma entidade que é viva ao menos na extensão em que, como outros organismos vivos, sua química e temperatura são auto-regulados em um estado favorável aos seus habitantes” (Lovelock, [1991]2000, p. 11).²²

Ele explica que a atribuição de vida à Terra é diferente da atribuição de vida dada a uma pessoa ou a uma bactéria – o ecossistema planetário ou Gaia seria vivo por comportar-se como um organismo vivo, na extensão em que a temperatura e a composição química seriam mantidas ativamente constantes em face das perturbações:

“Nesse livro, eu geralmente descrevo o ecossistema planetário, Gaia, como vivo, porque ele se comporta como um organismo vivo na extensão em que a temperatura e composição química são ativamente mantidas constantes em face das perturbações. Quando eu faço, estou consciente de que o termo é ele próprio metafórico e de que a Terra não é viva do mesmo modo que eu ou você ou mesmo uma bactéria” (Lovelock, [1991]2000, p. 6).²³

É interessante perceber que, neste livro, Lovelock faz questão de frisar que a Terra não é viva no mesmo sentido em que os organismos típicos são vivos, mas poderia ser considerada viva, em sua visão, mediante as analogias que apresenta com os organismos vivos, em particular, no que diz respeito às suas propriedades como um sistema auto-regulador.

Na carta em que apresenta a primeira versão da teoria Gaia à comunidade científica, Lovelock discute a idéia da atmosfera como um dispositivo biológico que poderia ser

²² “Gaia is the name of the Earth seen as a single physiological system, an entity that is alive at least to the extent that, like other living organisms, its chemistry and temperature are self-regulated at a state favourable for its inhabitants”.

²³ “In this book I often describe the planetary ecosystem, Gaia, as alive, because it behaves like a living organism to the extent that temperature and chemical composition are actively kept constant in the face of perturbations. When I do I am well aware that the term itself is metaphorical and that the Earth is not alive in the same way as you or me or even a bacteria”.

modificado de acordo com as necessidades de Gaia, ou seja, de maneira a cumprir diferentes propósitos. A atmosfera é considerada por ele uma parte e uma propriedade de Gaia, visto que quase todos os gases quimicamente reativos presentes nela são produtos da biosfera. No entanto, ela não é considerada viva, sendo entendida como um componente não-vivo essencial para a biosfera:

“A vida é abundante na Terra e quase todos os gases quimicamente reativos têm suas principais fontes e seus principais escoadouros na biosfera. [...] a atmosfera é um dispositivo biológico, uma parte e uma propriedade de Gaia. [...] Nesta hipótese, o ar não deve ser considerado como uma parte viva mas, antes, como um componente essencial mas não-vivo de Gaia, que pode ser modificado ou adaptado de acordo com as necessidades. Assim como a pelagem de um visão ou a concha de um caramujo” (Lovelock, 1972, p.580).²⁴

A parte viva de Gaia está restringida, desse modo, à biosfera, atribuindo-se a esta a capacidade de controlar tanto a composição atmosférica do planeta como a sua temperatura, de acordo com suas necessidades. A compreensão da atmosfera como um dispositivo biológico, por sua vez, tras consigo a idéia de teleologia. A situação da atmosfera no sistema descrito pela teoria Gaia, no entanto, é apresentada de forma inconsistente, visto que ela aparece ao mesmo tempo com uma parte e como uma propriedade de Gaia. A afirmação de que a atmosfera não é parte da biosfera deve ser entendida como um elemento do cinturão de hipóteses auxiliares da teoria Gaia, em sua primeira versão.

Nesta mesma carta, Lovelock apresenta um aspecto essencial da teoria Gaia: a idéia de que ela trata de um sistema de controle ao nível planetário denominado ‘Gaia’. Lovelock discorre sobre o aumento de energia radiante do Sol desde o surgimento da vida e a manutenção de uma temperatura planetária constante desde aquele período, com a temperatura não variando mais do que poucos graus em relação ao seu nível atual. Ele apresenta, então, novamente a teoria Gaia, destacando o que constitui, em nossa visão, o núcleo duro do programa de pesquisa, a idéia de Gaia como um sistema de controle capaz de manter o planeta homeostático, em um estado ótimo para a biosfera atual, e a proposição de que Gaia é um sistema biológico, que, de acordo com nossa interpretação, constitui uma

²⁴ “Life is abundant on Earth and the chemically reactive gases almost all have their principal sources and sinks in the biosphere[...] the atmosphere is a biological contrivance, a part and a property of Gaia. [...] In this hypothesis the air is not to be thought of as a living part of Gaia but rather as an essential but non-living

hipótese importante no cinturão protetor da primeira versão da teoria. A capacidade do planeta se manter em homeostase seria, segundo Lovelock, uma improbabilidade e uma explicação para tal homeostase seria a existência de um sistema cibernetico biológico:

“[...] Em face dessas improbabilidades, a presença de um sistema cibernetico biológico capaz de manter o planeta homeostático, em um estado físico e químico ótimo apropriado à sua biosfera atual se torna uma possibilidade” (Lovelock, 1972, p.579).²⁵

Neste trecho, a idéia de que a teoria Gaia não se referiria pura e simplesmente a um sistema cibernetico, mas a um sistema cibernetico de natureza biológica, é explicitada, e, além disso, afirma-se que esse sistema age de modo a manter o planeta homeostático, em um estado físico e químico ótimo para a biosfera. Os conceitos de ‘homeostase’, ‘estado ótimo’ e ‘propósito’ (de alcançar esse estado ótimo para a biosfera), que aparecem nesta primeira versão da teoria Gaia, são elementos importantes. No entanto, em uma caracterização de Gaia como um programa de pesquisa lakatosiano, eles devem ser situados no núcleo duro da teoria ou no cinturão de hipóteses auxiliares?

Argumentos apresentados por James Kirchner (1989, 1993), um conhecido crítico da teoria Gaia, podem ajudar neste ponto. Kirchner argumenta que Gaia não constitui uma teoria única, mas uma série de teorias, variando de versões mais fracas a versões mais fortes. Uma diversidade de teorias logicamente diferentes estaria sendo apresentada com um único nome – ‘Gaia’. Diferentes pessoas utilizam, na visão de Kirchner, o termo Gaia com diferentes significados, e, às vezes, até mesmo uma única pessoa poderia utilizar o termo Gaia de diferentes maneiras em contextos variados. Kirchner destaca algumas versões de Gaia, denominando-as ‘Gaia influenciadora’, ‘Gaia coevolutiva’, ‘Gaia homeostática’, ‘Gaia teleológica²⁶’, e ‘Gaia otimizadora’. A classificação destas várias versões da teoria como ‘fortes’ ou ‘fracas’ decorre, para Kirchner, da natureza mais ou menos extrema das mesmas, e não de sua plausibilidade, ou, dito de outra maneira, da maior ou menor ousadia das idéias propostas relativamente

component which can be changed or adapted as the needs require. Like the fur of a mink or the shell of a snail”.

²⁵ “In the face of these improbabilities the presence of a biological cybernetic system able to homeostat the planet for an optimum physical and chemical state appropriate to its current biosphere becomes a possibility”.

²⁶ A atribuição da idéia de propósito à teoria Gaia por Kirchner, implicada em sua caracterização de uma Gaia teleológica, é bastante polêmica, visto que, apesar de existirem afirmações do próprio James Lovelock que se

ao conhecimento científico estabelecido. Ele considera Gaia influenciadora e coevolutiva como teorias fracas, visto que parecem apenas afirmar que o meio ambiente físico e a biota têm algo a ver um com o outro, e isso não constitui qualquer novidade frente ao conhecimento estabelecido. Já Gaia homeostática, Gaia teleológica e Gaia otimizadora são, para Kirchner, bastante fortes, na medida em que incluem idéias que não estão em pleno acordo com o conhecimento estabelecido e, assim, se mostram ousadas diante deste último. Gaia influenciadora é, de acordo com Kirchner, a mais fraca das teorias apresentadas por Lovelock. Ela afirmaria simplesmente que a biota exerce uma influência substancial sobre certos aspectos do mundo abiótico, tais como a temperatura e a composição da atmosfera. Gaia coevolutiva, por sua vez, considera que a biota influencia o meio ambiente abiótico e que o meio ambiente, por sua vez, influencia a evolução da biota por um processo darwiniano. Gaia homeostática considera que a biota influencia o mundo abiótico de um modo estabilizador, mantendo certos parâmetros em equilíbrio homeostático por meio de alças de retroalimentação (*feedback*) negativa. Gaia teleológica consiste na afirmação de que a atmosfera é mantida em homeostase não apenas pela biosfera, mas por e para (em algum sentido) a biosfera, incluindo, portanto, uma idéia de propósito e devendo ser caracterizada em termos de alguma forma de explicação teleológica. Por fim, Gaia otimizadora considera que a biota manipula seu meio ambiente físico com o propósito de criar condições biologicamente favoráveis ou mesmo ótimas para ela própria.

A classificação proposta por Kirchner é importante, na medida em que uma variedade de caracterizações da teoria Gaia aparece desde os primeiros trabalhos de Lovelock a este respeito. Esses aspectos não parecem, no entanto, necessariamente excluírem uns aos outros, podendo aparecer como componentes de uma única versão da teoria Gaia. Um aspecto apresentado por Kirchner, no entanto, não deve ser ignorado. Ao citar a teoria Gaia, um grupo de pessoas ou mesmo uma única pessoa pode estar referindo-se a aspectos diferentes da mesma. Assim, é preciso deixar claro quais são os aspectos essenciais para a caracterização da teoria Gaia como um programa de pesquisa, *i.e.*, o seu núcleo duro. Somente assim, confusões com relação ao que se quer dizer quando se faz

mostram pertinentes com esta atribuição, Lovelock é enfático ao afirmar que a teoria Gaia não apresenta tal caráter teleológico. Essa polêmica será abordada posteriormente neste trabalho.

referência à teoria Gaia tornar-se-ão menos prováveis. Antes de aplicar tais definições de Gaia de modo a facilitar a análise de sua científicidade, é interessante que sejam feitos alguns comentários a respeito da opinião de Lovelock com relação a tais designações de Gaia.

Para Lovelock, Kirchner, em seu trabalho crítico, teria agido com uma ‘habilidade de advogado’, selecionando citações dos seus primeiros artigos e de seu primeiro livro, ignorando o seu contexto e utilizando-as de modo a ridicularizar e diminuir a teoria Gaia (Lovelock, 2001, p. 271). Lovelock, como será discutido adiante, discorda completamente da versão teleológica de Gaia, que, segundo ele, não apresentaria qualquer tipo de propósito envolvido em sua dinâmica. No entanto, como Kirchner (1993) mostrou em seu artigo, realmente é possível observar trechos de trabalhos de Lovelock que apresentam a idéia de propósito. Esta idéia, como veremos no decorrer de nossa análise, aparece em boa parte dos artigos de Lovelock. As versões fracas de Gaia – Gaia influenciadora e coevolucionária – não são relevantes para a análise da científicidade da teoria, visto que são desprovidas da amplitude da relação entre a biosfera e os fatores ambientais que, mesmo sofrendo modificações em sua interpretação a partir da década de 1980, quando a biosfera deixa de apresentar o papel de principal componente no sistema biosfera-ambiente, está fortemente presente na teoria Gaia desde seu surgimento em 1972. De acordo com Lovelock (1989), a idéia de coevolução surgiu a partir da tentativa do cientista russo Vernadsky de desenvolver uma ciência capaz de juntar as ciências da Terra e da vida – a biogeocíquímica. Ele e os seus sucessores reconheceram que a vida e o ambiente físico e químico interagem e que gases como metano e oxigênio são produtos biológicos. Sua teoria, no entanto, diferiria de Gaia por manter a idéia de que os organismos simplesmente se adaptam ao seu ambiente material, modificado pelos próprios organismos. Assim, segundo Lovelock, a coevolução seria como uma amizade platônica entre biólogos e geólogos, que se tornariam amigos, mas nunca deixariam essa amizade ser muito íntima. A teoria da evolução, dessa maneira, não incluiria uma regulação ativa da composição química e do clima da Terra envolvendo a biota e seu ambiente material (Lovelock, 1989, p. 216). Apesar de Kirchner apresentar cinco versões de Gaia, nós utilizaremos apenas três delas – as versões consideradas fortes, Gaia teleológica, otimizadora e homeostática - na análise da estrutura da teoria Gaia, visto que apenas estas versões se mostram relevantes para uma apreciação da científicidade desta

teoria. É interessante que, mesmo com a distinção de várias versões da teoria Gaia tendo sido empreendida por Kirchner com o propósito de criticá-la, algumas das categorias propostas por ele se mostram muito úteis na identificação de aspectos essenciais à estrutura desta teoria.

Com relação à carta ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’, podemos verificar a presença das idéias relacionadas a Gaia teleológica, homeostática e otimizadora. O núcleo duro da primeira versão da teoria Gaia, conforme apresentada por Lovelock em 1972, contém, de acordo com nossa interpretação, a idéia de que Gaia é um sistema cibernetico de controle de variáveis físico-químicas importantes na adaptação e sobrevivência dos organismos. A idéia de que Gaia é uma entidade viva, constituída pela associação da totalidade das espécies que compõem a biosfera, constitui uma hipótese importante do cinturão protetor da primeira versão da teoria. Uma outra hipótese que faz parte do cinturão protetor da teoria Gaia é a atribuição de controle do ambiente global à biosfera, que agiria de modo a adaptá-lo às suas necessidades. Além disso, a caracterização da atmosfera como uma parte não-viva de Gaia também aparece como uma hipótese auxiliar da teoria. A caracterização do controle exercido por tal sistema cibernetico dá lugar, por sua vez, a versões da teoria com ‘forças’ diferentes, de acordo com a classificação de Kirchner, podendo-se propor que tal controle mantém o planeta Terra em homeostase (Gaia homeostática), ou, indo mais além, afirmando-se que este controle cumpre um propósito definido (Gaia teleológica), ou, na proposição de maior força, o propósito do mecanismo de controle preconizado é definido com clareza, defendendo-se que este controle é dirigido especificamente para a manutenção de um estado ótimo para a biosfera como um todo (Gaia otimizadora). Neste caso, ao considerar-se Gaia como sinônimo de biosfera, o estado ótimo para a biosfera seria o estado ótimo para a própria entidade Gaia. A primeira versão da teoria Gaia consiste, assim, numa teoria bastante forte, relativamente ao conhecimento científico então estabelecido, na qual três formulações da teoria discutidas por Kirchner se encontram combinadas. Considerando-se, em suma, a idéia de um sistema cibernetico de controle acoplando a biosfera e o ambiente físico e químico da Terra como uma das proposições no núcleo duro da teoria Gaia, as elaborações que estão subjacentes às interpretações homeostática, teleológica e otimizadora da teoria, conforme a classificação de Kirchner, aparecem como qualificações fundamentais daquela proposição, devendo ser

situadas também no núcleo duro. No caso da primeira versão, de 1972, as três idéias se encontram combinadas numa formulação que pode ser expressida, tomando-se os termos propostos por Kirchner, como a idéia de Gaia otimizadora, que inclui as idéias de Gaia homeostática e teleológica.

Em ‘Gaia as seen through the atmosphere’, Lovelock apresenta três evidências empíricas que corroborariam sua teoria: (1) os registros geológicos mostrando que, apesar das mudanças que ocorreram na composição da atmosfera terrestre nos últimos 3 bilhões de anos, incluindo sua transformação de uma atmosfera reduzida para uma atmosfera oxidada, e do aumento da energia radiante do sol, a persistência da vida mostra que a temperatura da superfície não variou em mais que alguns graus em relação ao seu nível atual; (2) a atmosfera da Terra pode ser considerada anômala, quando comparada às atmosferas de Marte e Vênus; e (3) caso não houvesse vida, o oxigênio e o nitrogênio iriam declinar em concentração até restarem apenas traços destes gases na atmosfera (Lovelock, 1972, pp. 579-580). Estas evidências, que já apareciam nos trabalhos de Lovelock desde o período em que ele trabalhou na NASA, constituíram a base empírica que deu apoio à teoria Gaia em sua primeira versão.

Em 1972, Lovelock começou a trabalhar em colaboração com a bióloga Lynn Margulis e, em 1974, ambos publicaram uma série de artigos discutindo a teoria Gaia em maior profundidade do que na carta enviada a *Atmospheric Environment* por Lovelock, em 1972: ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ (Lovelock & Margulis, 1974a), publicado na revista *Tellus*; ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’ (Margulis & Lovelock, 1974), publicado na revista *Icarus*; e ‘Homeostatic tendencies of Earth’s Atmosphere’ (Lovelock & Margulis, 1974b), publicado na revista *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. Segundo Lovelock, o artigo ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ foi escrito por ele, apresentando Gaia de acordo com sua concepção. Já o artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’ foi escrito, ainda segundo Lovelock, por Margulis e apresentou sua visão da teoria Gaia (Lovelock, 2001, p. 261). O artigo ‘Homeostatic tendencies of Earth’s atmosphere’ também foi escrito como resultado do trabalho em conjunto de Lovelock e Margulis em 1974. Não conseguimos obter este artigo e, assim, a análise dos trabalhos publicados em 1974 por Lovelock e Margulis com o intuito de apresentar a teoria Gaia à

comunidade científica estará restrita aos dois primeiros trabalhos mencionados acima. Vale a pena destacar, no entanto, que este artigo não é citado por Lovelock em sua autobiografia, no momento em que ele se refere aos trabalhos realizados em parceria com Margulis (Lovelock, 2001, p. 261), o que dá a impressão de que os dois primeiros artigos teriam sido mais importantes na concatenação das idéias que surgiram do trabalho em conjunto dos dois autores.

Com relação à parceria entre Lovelock e Margulis, o primeiro contato entre estes cientistas ocorreu através de uma carta na qual Margulis questionava Lovelock sobre o significado do oxigênio na atmosfera. O motivo de Margulis ter feito esse contacto foi a sugestão dada por seu então marido Carl Sagan, de que Lovelock seria o principal indicado para uma discussão sobre o oxigênio atmosférico. Em 1972, após receber um convite de Margulis, Lovelock visitou seu laboratório em Boston. A impressão de Lovelock a respeito de Margulis foi a melhor possível. Segundo ele, aquela foi a primeira vez que conheceu uma bióloga que apresentava um sentimento pelo organismo.²⁷ A empatia de Margulis pelas comunidades microbianas levou a um enriquecimento da compreensão de Gaia e da importância do setor microbial para o sistema como um todo (Lovelock, 2001, pp. 256-257). Ainda segundo Lovelock, ele e Margulis, entre várias outras coisas, se apoiaram e

²⁷ A afirmação de que Margulis teria um ‘sentimento pelo organismo’, apresentada por Lovelock em sua *Autobiografia*, nos remete a uma discussão interessante sobre o papel do organismo na biologia. De acordo com Emmeche e El-Hani (2000), do ponto de vista do senso comum, é quase um truísmo afirmar que a biologia lida com os organismos e sua ecologia, seu comportamento, sua organização, sua origem, sua evolução e seu desenvolvimento. Neste sentido, a biologia teria nascido centrada no organismo. Contudo, historiadores e filósofos da biologia têm repetidamente apontado a existência de um tipo de lacuna conceitual entre as noções do organismo e de seus mecanismos: por um lado, teríamos a visão de senso comum da biologia (com influência nas áreas de história natural, zoologia taxonômica e botânica) e, por outro, o esquema teórico e conceitual que, lado a lado com a teoria neodarwinista da evolução, se tornou dominante na biologia da segunda metade do século XX, conhecido como a ‘perspectiva molecular’, baseada no espantoso do progresso feito pela genética, biologia celular, bioquímica e biologia molecular na compreensão dos mecanismos moleculares em operação nos seres vivos (Emmeche e El-Hani, 2000, p. 235). A razão pela qual o organismo quase teria desaparecido da biologia da segunda metade do século XX é explicada por El-Hani e Emmeche da seguinte maneira: Nas abstrações da biologia molecular, a complexidade da organização dos organismos foi simplesmente tomada como dada (nos termos de Lakatos, relegada ao conhecimento não-problemático), quando o foco experimental foi voltado na direção do mapeamento detalhado e da análise do aparato genético, da síntese de proteínas, do controle da expressão gênica etc. De modo similar, na teoria neodarwinista, a agência e a autonomia dos organismos não foram nem mesmo estabelecidas como problemas teóricos, mas foram desconsideradas nos modelos genéticos e evolutivos, na medida em que o darwinismo apenas concebia o organismo como o local onde forças internas produtoras da variação, sobre as quais o organismo não tem controle, se defrontam com pressões seletivas de um ambiente que também não é influenciado por ele. Quando Lovelock fala no sentimento de Margulis pelo organismo, isso sugere que, em contraste com a tendência dominante no pensamento biológico da época, ela concebia a biologia como sendo centrada no organismo.

complementaram um ao outro maravilhosamente. Margulis abriu o mundo dos microorganismos para Lovelock. Sua ampla experiência e sabedoria sobre os microorganismos teriam, escreve Lovelock, “colocado carne nos ossos desnudos de meu esqueleto de Gaia”.²⁸ Lovelock e Margulis exploraram juntos vários sistemas possíveis que poderiam servir como reguladores do clima e da química (Lovelock, 2001, p. 258). No primeiro artigo em colaboração com Margulis, ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’, Lovelock apresentou mais uma vez a teoria Gaia à comunidade científica. Este artigo apresenta uma versão da teoria semelhante àquela encontrada na carta publicada anteriormente por Lovelock:

“Este artigo examina a hipótese de que o conjunto total dos organismos vivos que constituem a biosfera pode agir como uma entidade única para regular a composição química, o pH da superfície e possivelmente também o clima. Nós estamos chamando a noção da biosfera como um sistema de controle adaptativo ativo capaz de manter a Terra em homeostase de hipótese ‘Gaia’” (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 3).²⁹

Observa-se que, novamente, a biosfera é apresentada como o conjunto dos seres vivos com a capacidade de agir como um sistema de controle adaptativo que levaria o planeta a um estado de homeostase. A noção de sistema de controle adaptativo, núcleo duro da versão da teoria Gaia apresentada na carta de 1972, também aparece nesta nova estruturação da teoria. Ainda de forma semelhante à carta de 1972, a atmosfera é apresentada como parte componente de Gaia e não apenas como um meio ambiente para a vida:

“Este artigo apresenta uma nova visão da atmosfera, na qual ela é vista como uma parte componente da biosfera, e não como um mero ambiente para a vida” (Lovelock & Margulis, 1974a, p.2).³⁰

Tomando-se como base a apresentação, pelos autores, do termo ‘Gaia’ como sinônimo de biosfera, visto que Gaia nada mais seria que a biosfera entendida como um

²⁸ “[...] put flesh on the bare bones of my skeleton of Gaia”.

²⁹ “This paper examines the hypothesis that the total ensemble of living organisms which constitute the biosphere can act as a single entity to regulate chemical composition, surface pH and possibly also climate. The notion of the biosphere as an active adaptive control system we are calling the ‘Gaia’ hypothesis”.

³⁰ “This paper presents a new view of the atmosphere, one in which it is seen as a component part of the biosphere rather than as a mere environment for life”.

sistema ativo de controle, e assumindo-se, como proposto no trecho citado, que a atmosfera é parte da biosfera, ela também seria parte de Gaia. Esta compreensão da atmosfera como parte de Gaia pode parecer, à primeira vista, um tanto confusa, visto que é difícil imaginá-la como parte do conjunto total dos seres vivos da Terra. No entanto, Lovelock e Margulis explicam mais detalhadamente o que significa, para eles, ver a atmosfera nestes termos. O que está em pauta é a idéia de que a atmosfera é um produto biológico, que já aparecia como uma hipótese auxiliar no cinturão protetor da estrutura de Gaia na carta de 1972. Uma outra idéia que aparece tanto neste artigo quanto na carta de 1972 é a de propósito. Esta idéia é explicitada no momento em que Lovelock e Margulis apresentam a atmosfera como um dispositivo biológico essencial que serviria aos propósitos de Gaia. A caracterização da atmosfera como um componente essencial, embora não-vivo, de Gaia, utilizando mais uma vez as analogias com a concha de um caramujo ou a pelagem de um visão, pode ser observada no trecho a seguir:

“Resumindo, existem evidências esmagadoras de que a atmosfera, com exceção de seu conteúdo de gases nobres é um produto biológico. Ela pode ser um dispositivo biológico; não-viva, mas uma parte tão essencial da biosfera quanto a concha para um caramujo ou a pelagem para um visão” (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 6).³¹

Esta idéia fica ainda mais clara quando verificamos a analogia que Lovelock e Margulis fazem entre um organismo vivo e Gaia. Lovelock e Margulis utilizam uma definição fenomenológica de vida na qual esta é entendida como um membro da classe dos fenômenos abertos ou sistemas de reações contínuas capazes de diminuir sua entropia às custas da energia livre adquirida do meio ambiente e subseqüentemente rejeitada em uma forma degradada (Bernal, 1951; Wigner, 1961, citados por Lovelock & Margulis, 1974a, p.3). Eles afirmam que esta definição, apesar de limitada, pode ajudar na busca de provas da existência de Gaia, tanto através de uma delimitação da região interna na qual a entropia é reduzida quanto por meio da sugestão de que o reconhecimento de uma entidade viva pode basear-se na extensão de seu desequilíbrio físico e químico em relação ao meio

³¹ “In the summary there is overwhelming evidence that the atmosphere apart from its content of noble gases is a biological product. It may be a biological contrivance; not living but as essential a part of the biosphere as is the shell to a snail or the fur to a mink”.

ambiente (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 3)³². Em um trabalho publicado posteriormente, ‘Thermodynamics and the recognition of alien biospheres’, Lovelock admite que, ao considerar-se a vida com base na termodinâmica, existiriam três maneiras diferentes de detectar a sua presença: pela determinação do limite no qual a entropia é reduzida; pela condição de estado instável no qual existe um fluxo de energia de suficiente magnitude; e pela configuração molecular extremamente improvável, quando comparada com o equilíbrio de fundo (*equilibrium background*) altamente provável (Lovelock, 1975a, pp.168-170).

Com relação a qual seria o limite de Gaia, dentro do qual se observaria uma região interna na qual a entropia seria reduzida, Lovelock e Margulis afirmam que, quando a vida é vista em conjunto, o limite seria o espaço. O fluxo de saída de entropia (*outgoing entropy flux*) da Terra, na verdade, de Gaia, caso exista a entidade descrita pela teoria, consiste na emissão para o espaço de radiação infravermelha de comprimento de onda longo (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 4). Já no artigo ‘Thermodynamics and the recognition of alien biospheres’, Lovelock afirma de maneira mais precisa que o limite do sistema dentro do qual a entropia é reduzida seria a interface entre a atmosfera e o espaço (Lovelock, 1975a, p.168). Ambos os artigos deixam claro que a atmosfera faz parte do sistema que constitui Gaia:

“Mais importante, porém, é a implicação que a atmosfera, em tais circunstâncias, é uma parte do sistema dentro do qual a entropia é reduzida e não apenas um meio ambiente externo para a vida” (Lovelock, 1975a, p.169).³³

A verificação da extensão em que Gaia poderia ser considerada real iria depender, então, da verificação de uma redução da entropia na região interna delimitada por Lovelock e Margulis:

³² Although limited, this phenomenological description of the class of process, which includes life, is helpful in our search for proof or the existence of Gaia in two ways. Firstly by serving to refine the boundary of the internal region where entropy is reduced and secondly by suggesting that the recognition of a living entity can be based upon the extent of its physical and chemical disequilibrium from the background environment”.

³³ “More important though is the implication that the atmosphere in such circumstances is a part of the system within which entropy is reduced and not just an external environment for life”.

“Se Gaia é real ou não irá depender da extensão na qual a redução da entropia em um compartimento como a atmosfera é reconhecidamente diferente dos níveis basais do estado constante abiológico” (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 4).³⁴

É interessante observar, no artigo ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’, que Lovelock e Margulis procuram mais uma vez por evidências de Gaia a partir da atribuição de vida ao sistema descrito por sua teoria. Neste artigo, tal atribuição de vida parte de uma tentativa de apresentar Gaia como um sistema que segue leis fenomenológicas, tomando-se como base a definição de vida apresentada por Lovelock e Margulis (ver acima). Como já foi discutido anteriormente, proposições envolvendo a idéia de que a Terra é viva não são essenciais, em nossa visão, para a estrutura da teoria Gaia, visto que não influenciam o que consideramos seu núcleo duro. Assim, neste artigo, de forma semelhante ao que ocorre na carta de 1972, a atribuição de vida à entidade descrita pela teoria Gaia funciona mais como um meio de fazer uma ligação entre a teoria e a realidade do que como uma proposição essencial da teoria. Percebemos então que, nesta apresentação da teoria, assim como na de 1972, proposições envolvendo Gaia e vida estão situadas no cinturão protetor.

No artigo ‘Thermodynamics and the recognition of alien biospheres’, Lovelock trata da importância da existência de um estado instável, apresentando um fluxo de energia suficiente, como requisito básico para qualquer vida inicial. Ele baseia sua afirmação na termodinâmica do estado instável (*thermodynamics of the unsteady state*), que afirma que o estado de desequilíbrio termodinâmico aparece em regiões onde o gradiente de energia livre é suficiente para qualquer perturbação iniciar uma instabilidade. Este tipo de termodinâmica se mostra interessante para a detecção da vida, na medida em que possibilita a distinção formal entre os processos irreversíveis dos estados inorgânicos e os estados instáveis, nos quais a vida estaria incluída (Lovelock, 1975a, p.169). Lovelock e Margulis consideraram que o exame da extensão na qual a atmosfera está em desequilíbrio físico e químico, tanto com ela própria quanto com relação à superfície da Terra, poderia levar ao reconhecimento desta como uma entidade que se encontra em um estado distinto do estado de equilíbrio neutro (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 4). Nesses termos, a termodinâmica

³⁴ “Whether or not Gaia is real will depend upon the extent to which the entropy reduction within a compartment such as the atmosphere is recognizably different from the abiological steady state background”.

do estado instável poderia ser aplicada para verificar indícios de Gaia. Um outro aspecto relevante com relação à predominância de gases instáveis na atmosfera terrestre e à caracterização desta como um dispositivo biológico diz respeito às questões que podem ser feitas a respeito do papel desses gases na dinâmica planetária (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 5). Segundo Lovelock e Margulis, no contexto de Gaia certamente devem existir importantes propósitos relacionados à presença dos gases que compõem a atual atmosfera, visto que a biologia normalmente é eficiente e parcimoniosa com relação aos seus gastos (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 5). Novamente, a idéia de propósito aparece na estrutura da teoria Gaia, o que parece demonstrar que, por mais que Lovelock negue sua existência em seus trabalhos, esta idéia tinha um papel importante na teoria, conforme apresentada nos primeiros artigos a seu respeito. Kirchner (1993) cita um trecho do artigo ‘Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere’ de Lovelock e Margulis (1974a) que mostra de forma clara a idéia de homeostase incutida na teoria Gaia:

“[...] a atmosfera da Terra é mais que meramente anômala. Ela parece ser um dispositivo constituído especificamente para um conjunto de propósitos” (Lovelock & Margulis, 1974a).³⁵

Kirchner (1993) critica este enunciado da teoria Gaia por ser incompleto, uma vez que o propósito do suposto mecanismo de controle biológico não é definido. Ele enfatiza que propósito e função somente coincidem em dispositivos que funcionam adequadamente. No entanto, se a atmosfera funciona adequadamente, ou se ela é de fato um dispositivo é exatamente a questão em pauta. Argumentando que a atmosfera certamente tem uma série de funções importantes, Kirchner coloca uma pergunta inevitável: Qual das funções da atmosfera deve contar como seu ‘propósito’? Sem um propósito definido de maneira independente, Gaia Teleológica simplesmente afirma que a atmosfera cumpre o propósito de fazer qualquer coisa que ela faça. Este problema é resolvido por outra versão da teoria, ‘Gaia Otimizadora’, que afirma que o propósito de Gaia é manter um ambiente físico-químico ótimo para a biota. Kirchner, no entanto, explicita um difícil problema colocado por este argumento: Como definir uma condição ótima para toda a biosfera? Afinal de contas, ela inclui uma enorme diversidade de organismos, cada um dos quais com

requisitos diferentes, e muitas vezes conflitantes, para sua sobrevivência (Lima-Tavares & El-Hani, 2001). Como discutido anteriormente, a idéia de propósito pode ser entendida como um conceito nuclear da teoria Gaia, qualificando a noção de um sistema de controle, de um mecanismo de auto-regulação planetária, que também é parte, em nossa interpretação, do núcleo duro da teoria.

Para explicar como Gaia pode ser considerada um sistema de controle, Lovelock e Margulis (1974a) discutem as variáveis do ambiente físico-químico da Terra que provavelmente seriam controlados por ela: (1) a composição química da atmosfera, dos oceanos e do solo; (2) as temperaturas da superfície na região ‘nuclear’ entre 45°N e 45°S de latitudes ; (3) o pH da superfície e dos oceanos (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 6). Como já foi dito anteriormente, a caracterização de Gaia como um sistema cibernetico de controle de variáveis físico-químicas importantes na adaptação e sobrevivência dos organismos é parte do núcleo duro da teoria. Assim, as variáveis ambientais apresentadas acima estariam funcionando como evidências a favor da existência de tal sistema de controle e, assim, da própria teoria Gaia. A estabilidade da composição atmosférica, temperatura e pH da superfície dos oceanos, observada no planeta Terra, forma o corpo de evidências empíricas que surgiram a partir de trabalhos como o realizado por Lovelock e Hitchcock na NASA (a procura de evidências de vida em Marte e Vênus) e da interpretação de registros fósseis indicando que a Terra não teria passado por grandes mudanças em sua composição, mantendo características como o pH e a temperatura média constantes, apesar das modificações que ocorreram na composição de sua atmosfera e do aumento da intensidade da luminosidade solar desde o surgimento da vida. Estas evidências são as mesmas que aparecem na carta de Lovelock publicada em 1972, ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’.

Com relação ao conteúdo empírico excedente, observa-se um interesse de Lovelock e Margulis (1974a) em atribuir papéis aos gases componentes da atmosfera de origem biológica. Assim, são feitas especulações a respeito do papel de gases como o metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2) e amônia (NH_3). Essas especulações dão vez a previsões novas acerca dos gases atmosféricos, permitindo entender-se Gaia como um programa de pesquisa

³⁵ “[...] the Earth’s atmosphere is more than merely anomalous; it appears to be a contrivance specifically constituted for a set of purposes”.

que, naquele momento, trazia em si uma possibilidade concreta de progresso teórico e empírico. O óxido nítrico poderia estar envolvido na regulação da posição ou densidade da camada de ozônio (O_3). A amônia poderia estar atuando de modo a manter um pH próximo a 8, num estado ótimo para Gaia. Eles ainda atribuem aos gases sulfeto de dimetila (DMS), iodeto de metila (CH_3I) e dimetil selênio (C_2H_6Se) um possível papel na transferência em massa de elementos essenciais entre a Terra e o mar.

O papel do DMS na transferência em massa do enxofre dos oceanos para a atmosfera foi apresentado por Lovelock e colaboradores em artigo publicado em 1972, ‘Atmospheric Dimethyl Sulphide and the Natural Sulphur Cycle’ (Lovelock, Maggs & Rasmussen 1972). Neste artigo, Lovelock e colaboradores partem do princípio de que o enxofre apresenta um ciclo no qual ele é transferido dos oceanos para a atmosfera e, posteriormente, para o solo. No entanto, para que este processo de transferência natural do enxofre funcione, é necessário algum composto de enxofre volátil ou gasoso para completar o ciclo. A principal questão de pesquisa de Lovelock e colaboradores consistia na verificação de qual seria o composto que teria o papel de transferir o enxofre dos oceanos para a atmosfera, de modo a completar o ciclo do enxofre, visto que o sulfeto de hidrogênio (H_2S), gás ao qual este papel era atribuído, não é encontrado na atmosfera no nível necessário para satisfazer a transferência em massa prevista pelo modelo³⁶ empregado. Além disso, de acordo com Lovelock, Maggs e Rasmussen (1972, p. 452), as águas dos oceanos são oxidativas demais para permitir a existência de concentrações atmosféricas de H_2S semelhantes às previstas no modelo. As moléculas de H_2S formariam nos oceanos produtos não-voláteis que jamais poderiam alcançar a sua superfície e escapar para a atmosfera (Lovelock, [1979] 2000, p.95). Lovelock, Maggs e Rasmussen sugeriram, então, que um outro gás, o sulfeto de dimetila (DMS), seria o componente natural do enxofre que estaria realizando o papel originalmente atribuído ao H_2S , de transferir o enxofre dos mares, através do ar, para as superfícies da terra. O teste desta previsão acerca do papel do

³⁶ O termo ‘modelo’ é ambíguo, visto que é usado, tanto por cientistas quanto por filósofos, com uma pluralidade de significados. Nesse trabalho, esse termo modelo é utilizado no sentido de uma representação idealizada de um sistema real. Para ser uma representação de um sistema, o modelo deve guardar alguma similaridade com o sistema. Um modelo não representa, contudo, todas as entidades que compõem um sistema, com todas as suas propriedades e interrelações. Se esse fosse caso, o modelo seria uma duplicação do sistema e não cumpriria sua função. O modelo é, portanto, uma representação idealizada na medida em que é construído mediante a seleção de aspectos do sistema que são considerados relevantes, à luz da teoria a partir da qual o modelo é construído (Abrantes 1999).

DMS no ciclo do enxofre foi baseado em trabalho anterior, realizado por Frederick Challenger (citado por Lovelock, [1979] 2000, p.95), no qual foi demonstrado que várias espécies de algas marinhas eram capazes de produzir DMS em grandes quantidades. Lovelock e colaboradores realizaram, então, um trabalho empírico no qual mediram as concentrações de DMS na água do mar, bem como as taxas de sua emissão por plantas terrestres, por solos e por algas marinhas. Os resultados obtidos corroboraram a idéia de que a produção de DMS é onipresente na biosfera e que, provavelmente, este seria o gás responsável pela dinâmica do ciclo do enxofre (Lovelock, Maggs & Rasmussen, 1972, p. 452). Desse modo, as previsões feitas acerca do papel do DMS no ciclo do enxofre terminaram por conduzir o programa de pesquisa iniciado por Lovelock a um progresso empírico.

O metano poderia, segundo Lovelock & Margulis (1974a), apresentar duas funções. Primeiro, ele poderia funcionar como fonte de vapor d'água e, em última instância, de oxigênio, visto que o metano seria transferido para a estratosfera e oxidado a vapor d'água, que, ao ser fotolizado, funcionaria como fonte de oxigênio. A segunda função atribuída ao metano consiste em seu papel como uma espécie de balão molecular de hidrogênio, que teria a capacidade de carregar o excesso de hidrogênio para a camada mais alta da atmosfera, onde este gás poderia escapar e, desse modo, sustentar a atual tensão de oxigênio da Terra (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 6). Esse possível mecanismo relacionado ao metano foi desenvolvido por Lovelock e Lodge (1972), no artigo ‘Oxygen in the Contemporary Atmosphere’, no qual eles fazem uma discussão a respeito do estado de oxidação da atmosfera terrestre atual. Eles partem do princípio de que a composição da atmosfera terrestre primitiva não era a mesma observada nos dias de hoje. Antes do surgimento da vida no nosso planeta, a atmosfera terrestre era semelhante às atmosferas de Marte e Vênus, predominando gases como o CO₂ e com o O₂ quase ausente (Margulis & Sagan 1986). No entanto, atualmente, a taxa de CO₂ existente na atmosfera terrestre é de apenas 0,03%, enquanto que a de O₂ é de 21%. Lovelock e Lodge (1972) comentam que a atual composição da atmosfera terrestre costumava ser explicada pelos cientistas como o resultado final de processos abiólogicos, tais como reações fotoquímicas envolvendo gases e precursores de gases liberados do interior da Terra, que teriam lugar na camada mais alta da atmosfera. Ainda segundo eles, apenas poucos cientistas teriam designado algum papel

para a biosfera na modificação da composição química atmosférica para o estado atual, distante de um estado de distribuição completamente inorgânica dos gases. Lovelock e Lodge observam, referindo-se aos trabalhos realizados por Lovelock e Hitchcock na década de 1960, que a presença de vida na Terra pode ser inferida a partir da análise da atmosfera e que a atmosfera terrestre pode ser considerada um estratagema biológico, visto que a vida da Terra interfere bastante em sua composição. Eles buscam, então, examinar o atual estado de oxidação da atmosfera terrestre a partir deste ponto de vista. Lovelock e Lodge apresentam dois processos biológicos para o controle da taxa atual de oxigênio na Terra. Um deles, proposto por Rubey em 1951, estaria relacionado à queima de compostos de carbono e enxofre, resíduos de uma biosfera primitiva. Ainda que não seja disponível uma estimativa correta da quantidade de oxigênio produzida por esta queima, existem, sem sombra de dúvida, quantidades substanciais de materiais reduzidos de origem biológica na crosta terrestre. No entanto, mesmo que se pudesse demonstrar que a atual quantidade de oxigênio tenha sido liberada por este processo, ainda seria necessário dar conta da manutenção de uma concentração constante de oxigênio diante da contínua remoção por exposição de materiais reduzidos por processos tectônicos (Lovelock & Lodge, 1972, p. 575-576). Outro mecanismo, proposto por Bates e Nicolet em 1950, considera que os compostos de hidrogênio da camada superior da atmosfera resultariam não apenas do movimento ascendente do vapor d'água, mas também do movimento ascendente do metano (Lovelock & Lodge, 1972, p.577). O metano liberado na atmosfera seria oxidado na estratosfera e cada molécula de metano daria origem a duas moléculas de água. Assim, a proporção de água na atmosfera proveniente da oxidação do metano seria maior que a proporção de água proveniente da liberação direta de vapor d'água na atmosfera. De acordo com cálculos feitos por Singer e Newell, cerca de 40 a 80% do vapor d'água da estratosfera seria proveniente da oxidação direta do metano (Singer, 1971; Newell, 1971, citados por Lovelock & Lodge, 1972, p.577). O fato de existirem provas amplas de que quase todo o metano encontrado na atmosfera é resultado de processos biológicos (Robinson & Robbins, 1971, citados por Lovelock & Lodge, 1972, p.577) e a importância que este parece ter na produção do vapor d'água da atmosfera terrestre mostram, para os autores, que a produção de oxigênio na atmosfera pela fotólise do vapor d'água é sustentada pela produção de metano na superfície terrestre (Lovelock & Lodge, 1972, p.577). Lovelock e Lodge

concluem que o fato de a biosfera gastar energia para produzir constantemente enormes quantidades de metano provavelmente apresenta algum propósito subjacente, tal como o de interferir na manutenção do potencial redox do planeta. É possível que o metano esteja funcionando tanto como produtor quanto como regulador da fonte de oxigênio. Lovelock e Lodge também consideram a possibilidade de o mecanismo de queima de combustíveis fósseis exercer algum papel regulatório no potencial redox da Terra (Lovelock & Lodge, 1972, pp. 577-578). Este trabalho mostra claramente a tendência de Lovelock de apresentar uma biosfera ativa, exercendo um importante papel na regulação e dinâmica do planeta Terra. A idéia de que a atmosfera terrestre pode ser considerada um estratagema biológico aparece tanto na primeira apresentação da teoria Gaia, publicada no mesmo ano (1972), quanto nos artigos publicados por Lovelock e Margulis no ano de 1974. O artigo de Lovelock e Lodge é citado no texto de Lovelock e Margulis (1974a) como base para postular-se um possível propósito da liberação de metano pela biosfera: a regulação do potencial redox da Terra.

Para a caracterização da estrutura da teoria Gaia, é importante examinar o que, exatamente, Lovelock e Margulis consideram ser a entidade Gaia, em seus artigos de 1974:

“[...] a palavra Gaia será utilizada para descrever a biosfera e todas aquelas partes da Terra com as quais ela interage ativamente para formar a nova entidade hipotética com propriedades que não poderiam ser previstas a partir da soma das suas partes” (Lovelock & Margulis, 1974, p. 3).³⁷

Aqui, mais uma vez, a biosfera aparece com um papel central na teoria Gaia. Ela interage muito estreitamente com a atmosfera e com outras partes da Terra, como o solo e os oceanos, para formar a entidade hipotética Gaia. Como foi discutido anteriormente, no entanto, a biosfera, nesta versão da teoria Gaia, tem um papel determinante no sistema de regulação planetária, mediante sua interação ativa com partes da Terra. Lovelock e Margulis também afirmam, neste trecho, que Gaia é uma entidade hipotética e que ela apresenta propriedades que não podem ser previstas a partir das propriedades das partes,

³⁷ “[...] the word Gaia will be used to describe the biosphere and all of those parts of the Earth with which it actively interacts to form the hypothetical new entity with properties that could not be predicted from the sum of its parts”.

uma máxima holista que é usualmente relacionada à noção de propriedades emergentes.³⁸ A atribuição de um papel determinante à biosfera no sistema de regulação planetária e a idéia de imprevisibilidade das propriedades da entidade Gaia fazem parte do cinturão protetor da teoria.

A idéia de homeostase também aparece nos artigos de Lovelock e Margulis de 1974, como mostra claramente o trecho abaixo:

“Para aqueles que estão convencidos que os gases atmosféricos são produtos biológicos mas estão relutantes em aceitar a noção de homeostase, nós dizemos: se a vida tem meramente um papel passivo na ciclagem dos gases do ar, então as concentrações serão estabelecidas pela química do equilíbrio; de fato, elas muito certamente não são. Se a vida cicla ativamente os gases, então nós perguntamos como poderia tal sistema ser estável no longo termo sem homeostase?” (Lovelock & Margulis, 1974, p. 9)³⁹

Assim, como resultado da análise deste artigo de Lovelock e Margulis, é possível perceber que a estrutura inicialmente apresentada na carta de Lovelock publicada em 1972 é praticamente mantida. Continuam a fazer parte do núcleo duro da teoria Gaia a noção de um sistema cibernetico de controle que leva o planeta a uma homeostase (Gaia homeostática), a idéia de propósito definido que aparece de modo implícito nesse sistema cibernetico de controle (Gaia teleológica) que parece ser dirigido especificamente para a manutenção de um estado ótimo para a biosfera como um todo (Gaia otimizadora). Nesta versão da teoria Gaia, também são mantidas algumas hipóteses auxiliares discutidas anteriormente, como a atribuição de um papel preponderante à biosfera dentro do sistema cibernetico de controle, a caracterização da atmosfera como uma parte não-viva de Gaia, caracterização de Terra como uma entidade viva, além da idéia de emergência de propriedades como consequência da ação sistêmica de Gaia. As evidências corroboradoras de Gaia também são as mesmas apresentadas na carta de 1972, incluindo a estabilidade da composição atmosférica, da temperatura e do pH da superfície dos oceanos, observada no planeta

³⁸ Para uma crítica do uso da máxima de que o todo é maior do que a soma das partes como base para compreender-se a idéia de emergência, ver El-Hani (2000).

³⁹ “To those who are convinced that the atmospheric gases are biological products but are reluctant to accept the notion of homeostasis we say: if life has merely a passive role in cycling the gases of the air then the

Terra desde o surgimento da vida. A principal novidade encontrada neste artigo diz respeito à grande quantidade de conteúdo empírico excedente, sendo apresentadas previsões novas acerca dos papéis, na dinâmica planetária, de gases componentes da atmosfera, como o metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2), amônia (NH_3), sulfeto de dimetila (DMS), iodeto de metila (CH_3I) e dimetil selênio ($\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}$), que teriam uma origem biológica, na transferência em massa de elementos essenciais entre a Terra e o mar. Esse conteúdo empírico excedente da teoria Gaia, como será visto no decorrer deste trabalho, vem sendo bastante explorado por Lovelock e colaboradores desde a década de 1970, com algumas das previsões novas feitas por Lovelock e Margulis tendo sido confirmadas em estudos empíricos, e, além disso, tendo levado ao surgimento de mais previsões.

Lovelock e Margulis finalizam o artigo em análise afirmando que seu propósito foi introduzir a hipótese Gaia, ao menos por entretenimento:

“O propósito desse artigo é introduzir a hipótese Gaia ao menos por entretenimento e para a introdução de novas questões sobre a Terra” (Lovelock, 1974a, p. 9).⁴⁰

A idéia de que a teoria Gaia poderia ter apenas um papel de entretenimento parece funcionar neste artigo como uma forma de Lovelock e Margulis se mostrarem cautelosos na apresentação de uma teoria ainda recente. Talvez esta cautela esteja relacionada com a inexistência, naquele momento, de evidências corroboradoras da teoria em quantidade suficiente para convencer a comunidade científica. No entanto, Lovelock e Margulis (1974a) acreditam que tais evidências poderiam ser obtidas com o desenvolvimento de sua teoria, como indica sua afirmação de que, apesar de existir a possibilidade de que nunca sejam encontradas provas da existência de Gaia, novas evidências poderiam ser obtidas a partir do estudo da Terra atual (Lovelock & Margulis, 1974a, p. 9). É interessante perceber que Lovelock e Margulis, desde a época da publicação deste artigo, têm consciência do poder heurístico de sua teoria. Além disso, um último comentário pode ser feito a respeito da afirmação de que Gaia pode nunca chegar a ser provada. A caracterização de Gaia como uma entidade viva constituía, neste ponto de vista, uma dificuldade adicional para a teoria.

concentrations will be set by equilibrium chemistry; in fact they most certainly are not. If life actively cycles the gases then we ask how could such a system be stable in the long run without homeostasis”?

A idéia de que Gaia é um organismo vivo dificultou a aceitação da teoria por parte dos cientistas, por trata-se de afirmação baseada numa proposição metafísica para a qual Lovelock e Margulis não ofereciam suficiente sustentação. A atribuição de vida a Gaia é bastante polêmica, não podendo ser justificada por meio da estratégia, freqüentemente utilizada por Lovelock, de construir-se analogias entre características da Terra, conforme entendida na teoria Gaia, e dos organismos vivos. No entanto, a suposição da existência de um sistema cibernetico de controle ao nível planetário não depende necessariamente, para ser admitida como válida, da aceitação da idéia de que a Terra é viva. Contudo, também não parece fácil verificar a existência de um mecanismo com tamanha amplitude. Evidências relacionadas à descoberta de mecanismos de controle menores que estariam fazendo parte deste mecanismo de controle global, no entanto, poderiam ser obtidas, oferecendo apoio à idéia nuclear da teoria Gaia. Pensar desse modo é pensar de uma maneira lakatosiana, estudando uma teoria de uma maneira que não seja direcionada apenas para a demonstração de sua veracidade, como ocorre no indutivismo, ou para a tentativa incessante de falsificá-la, como em um falsificacionismo mais ingênuo. Um programa de pesquisa lakatosiano envolve a busca de avanços teóricos e evidências empíricas corroboradoras como base para a sua aceitabilidade.

No segundo artigo publicado em 1974 por Margulis e Lovelock, ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’, a estrutura da teoria Gaia é apresentada mais uma vez, agora segundo a visão de Margulis. Os autores dirigem este artigo para uma ampla audiência de cientistas, visto que, segundo eles, uma compreensão da atmosfera terrestre somente seria possível a partir da cooperação de vários cientistas, incluindo astrônomos planetários, geólogos, meteorologistas, químicos, físicos e biólogos (Margulis & Lovelock, 1974, pp. 471-472). A atmosfera é mais uma vez apresentada como sendo ativamente mantida e regulada pela biosfera:

⁴⁰ “The purpose of this paper is to introduce the Gaia hypothesis at least for entertainment and for the introduction of new questions about the Earth”.

“O propósito deste artigo é desenvolver o conceito de que a atmosfera terrestre é ativamente mantida e regulada pela vida na superfície, ou seja, pela biosfera (Margulis & Lovelock, 1974, p.471)”.⁴¹

Neste artigo, eles reiteram a idéia de que a biosfera apresenta a capacidade de regular o ambiente físico e químico do planeta. Assim como na carta ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’ (1972) e no artigo ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ (1974), a proposição de que Gaia é um sistema biológico aparece como uma hipótese importante no cinturão protetor da teoria. A idéia de uma homeostase ao nível planetário permanece, neste artigo, como componente do núcleo duro da teoria Gaia:

“Nós acreditamos que estas propriedades da atmosfera terrestre são evidência de uma homeostase em uma escala planetária. Em consideração à antiga tradição Grega, nós nos referimos à atmosfera controlada como ‘Gaia’”(Margulis & Lovelock, 1974, p. 471).⁴²

Além de fazer referência à homeostase, esse trabalho de Lovelock e Margulis também enfatiza a caracterização de Gaia como um sistema cibernetico de controle, envolvendo a biosfera e os fatores ambientais. A existência de um sistema de controle gaiano também não é novidade na estrutura da teoria. A proposição de tal sistema apareceu como componente do núcleo duro da teoria desde a primeira apresentação da teoria à comunidade científica, em 1972. De fato, Margulis e Lovelock, ao apresentar esta idéia, apenas citam um trecho da carta publicada por Lovelock em 1972:

“Nós acreditamos que Gaia é uma entidade complexa envolvendo a atmosfera terrestre, a biosfera, os oceanos e o solo. A totalidade constitui um sistema cibernetico de retroalimentação que busca um ambiente físico e químico ótimo para a biota” (Lovelock 1972, citado por Margulis & Lovelock, 1974, p.473).⁴³

Com relação aos sistemas ciberneticos de controle envolvendo a biosfera e o ambiente físico-químico da Terra, Margulis e Lovelock afirmam que não se trataria de um

⁴¹ “The purpose of this paper is to develop the concept that the earth’s atmosphere is actively maintained and regulated by life on the surface, that is, by the biosphere”.

⁴² “We believe that these properties of the terrestrial atmosphere are evidence for homeostasis on a planetary scale. In deference to the ancient Greek tradition, we refer to the controlled atmosphere as ‘Gaia’”.

⁴³ “We believe that Gaia is a complex entity involving the earth’s atmosphere, biosphere, oceans and soil. The totality constitutes a feedback cybernetic system which seeks an optimal physical and chemical environment for the biota.

sistema único, mas de vários sistemas de controle, que seriam responsáveis pelo controle dos níveis de temperatura, acidez e composição atmosférica da Terra toleráveis para a biota. Eles descrevem, inclusive, o objetivo do artigo como sendo a busca e o exame de alguns desses mecanismos:

“Nós queremos agora examinar a consequência de nossa hipótese de que a atmosfera terrestre contém vários sistemas de controle cibernetico responsáveis pela manutenção dos níveis de temperatura, acidez e composição toleráveis para a biota da Terra”(Margulis & Lovelock, 1974, p. 474).⁴⁴

Antes de verificarmos os mecanismos de controle cibernetico planetário que Margulis e Lovelock propõem, vamos tratar das evidências apresentadas por eles, neste artigo, para corroborar a teoria Gaia. Assim como nos trabalhos discutidos anteriormente, a estruturação da teoria Gaia neste trabalho teve como ponto de apoio aspectos relacionados à relativa estabilidade de fatores como temperatura, pH e salinidade da Terra, em um estado favorável à manutenção de sua biosfera:

“Não apenas a produção de calor pelo Sol tem modificado-se, mas também a composição da atmosfera e a natureza de sua superfície têm mudado. Estas também afetaram a quantidade de calor que a Terra recebeu do Sol. A probabilidade de que, por acidente, a temperatura tenha, por 3,5 bilhões de anos, sem exceção, seguido a trajetória reta e estreita ótima para a vida na superfície parece incrível. Nós concluímos, do fato de que a temperatura e certas outras condições ambientais na Terra não foram muito desviadas do que constitui um ótimo para a vida na superfície, que a vida deve manter ativamente estas condições (Lovelock, 1974, p. 475).⁴⁵

A partir da análise do trecho acima, é possível identificar mais uma proposição nuclear da teoria Gaia, referente à existência de um estado ótimo da Terra para a vida (Gaia otimizadora), associada ao postulado de um propósito da biosfera de alcançar tal estado

⁴⁴ “We want now to examine the consequence of our hypothesis that the earth’s atmosphere contains many cybernetic control systems responsible for maintenance of levels of temperature, acidity and composition tolerable to the earth’s biota”.

⁴⁵ “Not only has the sun’s output been changing but the composition of the atmosphere and the nature of its surface has changed. These too have affected the amount of heat that the earth received from the sun. The probability that, by accident, the temperature has for 3,5 billion yr, without exception, followed the straight and narrow path optimal for surface life seems unbelievable. We conclude from the fact that temperature and

ótimo (Gaia teleológica). Assim, o núcleo duro de Gaia continua a apresentar idéias presentes nas versões fortes de Gaia, conforme caracterizadas por Kirchner (1993): teleologia, homeostase e otimização. A existência de um sistema de controle cibernetico envolvendo a biosfera e os fatores físico-químicos do ambiente também aparece, como já foi visto, no núcleo duro da teoria. A manutenção do mesmo núcleo duro da teoria Gaia nos artigos publicados por Lovelock em 1972 e 1974 que foram examinados evidencia que os mesmos trazem uma versão única da teoria, como era de esperar-se, dada a proximidade das datas de suas publicações. De acordo com a teoria da ciência de Lakatos, um programa é caracterizado metodologicamente por uma heurística negativa que impede a modificação do núcleo duro, tornado metafísico por convenção. Uma modificação nas proposições nucleares da teoria Gaia levaria à sua transformação em um novo programa de pesquisa, diferente do apresentado até o momento. Uma modificação no cinturão protetor levaria a uma nova teoria dentro do mesmo programa de pesquisa. Não obstante, nos artigos discutidos até o momento, nenhum dos dois tipos de modificação foi observado. Nos artigos analisados, o que se observa é uma articulação e apresentação graduais dos componentes da teoria Gaia.

Um novo aspecto abordado no artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’(1974) é a contribuição específica dos microorganismos procarióticos, tanto no estado inicial quanto no estado atual da Terra. É interessante lembrar que este artigo foi escrito por Lynn Margulis, uma especialista em microorganismos. Ela apresenta a teoria Gaia desde a sua perspectiva, dando uma forte ênfase ao envolvimento dos microorganismos no sistema cibernetico de controle postulado pela teoria. Esta forma de apresentar a teoria Gaia difere daquela utilizada por Lovelock no artigo ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ (Lovelock & Margulis, 1974a), que se refere ao papel da biosfera como um todo na dinâmica planetária, sem descrever em detalhe a contribuição de qualquer grupo específico de organismos. Os artigos ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ (Lovelock & Margulis, 1974a) e ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’(1974), embora escritos por Lovelock e Margulis, respectivamente, não se contradizem, o que sugere que

certain other environmental conditions on the earth have not altered very much from what is an optimal for life on the surface, that life must actively maintain these conditions”.

seus autores conseguiram de fato estabelecer um intercâmbio de idéias. No entanto, o fato de Lovelock ser químico e Margulis, uma especialista em microorganismos naturalmente fez com que cada um dos artigos enfatizasse aspectos diferenciados, relacionados às áreas do conhecimento que eram melhor dominadas por cada um dos autores.

A importância dos microorganismos procarióticos é justificada por Margulis e Lovelock (1974) com base em dois argumentos: (1) eles apresentam uma versatilidade metabólica que pode levar a efeitos ambientais profundos; e (2) a regulação do ambiente planetário aparentemente já acontecia muito antes do surgimento das formas eucarióticas de vida. Além disso, os microorganismos procarióticos têm a capacidade de realizar quase todas as transformações químicas que os organismos eucarióticos apresentam (Lovelock, 1974, pp. 476-477). Em um trecho deste artigo (1974) Margulis e Lovelock apresentam o papel dos microorganismos procarióticos nas alterações ambientais:

“O papel dos microorganismos procarióticos nas alterações ambientais é bem documentado; eles produzem e quebram todo o espectro de compostos orgânicos sintetizados naturalmente e liberam para o ar uma ampla variedade de produtos finais gasosos, tais como metano, amônia, aminas voláteis, ácidos orgânicos, sulfeto de hidrogênio, óxido de nitrogênio, e assim por diante” (Margulis & Lovelock, 1974, p. 477).⁴⁶

Além do papel dos microorganismos procarióticos na dinâmica ambiental, Margulis e Lovelock enfatizam a ampla distribuição destes organismos por todo o mundo e sua importância por ser o componente biótico mais antigo da Terra (Margulis & Lovelock, 1974, pp. 477-478). Eles também atribuem uma importância crucial aos microorganismos, de um modo geral, no processo de regulação das condições do ambiente da Terra de modo a manter um estado ótimo para a biota:

“Claramente, apesar das drásticas mudanças na luminosidade solar e composição atmosférica, houve uma manutenção de um ambiente temperado, de neutro a alcalino, por longos períodos de tempo. Desse modo, nós acreditamos que seja proveitoso assumir que a

⁴⁶ “The role of prokaryotic microorganisms in environmental alterations is well documented; they produce and break down the entire spectrum of naturally synthesized organic compounds and they release a wide range of gaseous end products such as methane, ammonia, volatile amines, organic acids, hydrogen sulfide, nitrogen oxide, and so forth into the air”.

temperatura, composição gasosa e alcalinidade tenham sido ativamente moduladas pelos organismos, especialmente microorganismos” (Margulis & Lovelock, 1974, p. 479).⁴⁷

Em artigo escrito em 1978, ‘The Biota as an Ancient and Modern Modulator of the Earth Atmosphere’, Lovelock e Margulis relataram trabalhos desenvolvidos para verificar mais detalhadamente o papel dos microorganismos do solo na dinâmica planetária. Segundo Lovelock e Margulis, estes organismos estariam entre as principais partes de Gaia responsáveis pelo controle planetário dos oceanos e dos solos. Neste artigo, são apresentados três diagramas nos quais Lovelock e Margulis fazem uma ligação entre os passos metabólicos na evolução dos microorganismos e a interação potencial destes com os sedimentos da superfície e os gases troposféricos. O principal objetivo do trabalho, segundo eles, foi mostrar que qualquer tentativa de apresentar uma reconstrução holística da dinâmica da atmosfera da Terra deve considerar a influência da biota, especialmente da microbiota. Eles concluem, ainda, que os componentes não-antropogênicos de emissão de gases reativos para a atmosfera são geralmente muito maiores que os antropogênicos (Margulis & Lovelock, 1978, pp. 239-243). As algas marinhas e os grandes animais e plantas também devem apresentar, segundo Lovelock ([1979] 2000, p.106), funções especializadas na dinâmica de Gaia, mas não com a mesma importância das funções realizadas pelos microorganismos.

É interessante notar no artigo de Margulis e Lovelock (1974) que a ênfase no papel dos microorganismos na dinâmica planetária aparece como uma novidade na estrutura da teoria Gaia. Nos artigos anteriormente analisados, o papel dos microorganismos não era destacado, com a atribuição de um papel ativo na dinâmica planetária sendo feita de maneira igualitária à biosfera como um todo. Assim, a proposição de que os microorganismos apresentam um papel preponderante na dinâmica planetária, seja por estarem envolvidos na produção e na quebra de uma ampla variedade de componentes sintetizados naturalmente, seja por liberarem uma diversidade de produtos gasosos na atmosfera, aparece como uma nova hipótese auxiliar componente do cinturão protetor da teoria Gaia. Esta proposição vem sendo cada vez mais corroborada, desde 1974 até os dias

⁴⁷ “Clearly, in spite of drastic changes in solar luminosity and atmospheric composition there has been a maintenance of a neutral to alkaline temperate environment over long periods of time. Thus we believe that it is fruitful to assume that the temperature, gas composition, and alkalinity have been actively modulated by organisms, especially microorganisms”.

de hoje (2002), através do desenvolvimento de trabalhos que envolvem tanto modelos microbiológicos de regulação planetária, abordando a interação dos microorganismos com os sedimentos da superfície e os gases troposféricos, quanto estudos empíricos sobre, por exemplo, o papel de microorganismos do solo na dinâmica de gases como o CO₂. Entre os trabalhos que tratam do papel dos microorganismos do solo na dinâmica planetária, merecem destaque aqueles que tratam do ciclo do gás estufa CO₂ e, consequentemente, do controle da temperatura do planeta. É o caso, por exemplo, dos trabalhos de Lovelock e Watson – ‘The Regulation of Carbon Dioxide and Climate: Gaia or Geochemistry’(1982); Lovelock e Whitfield – ‘Life span of the biosphere’(1982); e Kump e Volk ‘Gaia’s Garden and BLAG’s Greenhouse: Global Biogeochemical Clima Regulation’ (1993). Antes de Lovelock e Watson desenvolverem um modelo biológico para a explicação da constância do clima da Terra, o modelo dominante incluía apenas retroalimentações de natureza abiótica, tendo sido proposto por Walker et al. (1981). Neste modelo, o ajuste automático da pressão parcial de CO₂ atmosférico é considerado responsável pelo controle da temperatura do planeta. A escolha do CO₂ como regulador da temperatura é devida à sua natureza estável e à observação de que ele impede que a radiação infravermelha do Sol escape da atmosfera terrestre (*i.e.*, trata-se de um gás estufa). De acordo com Walker e colaboradores, quanto maior a pressão parcial de CO₂ na atmosfera, maior a temperatura do planeta. Uma temperatura mais alta afetaria, por sua vez, a taxa de reação entre o CO₂ e as rochas calc-silicáticas (*calcium silicate rocks*), e também poderia aumentar o índice pluviométrico. Ocorreria, então, um processo de retroalimentação negativa, porque estes dois fatores em conjunto seriam capazes de reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera, diminuindo a temperatura do planeta (Walker 1981, citado por Lovelock & Watson, 1982, p. 799). Lovelock e Watson (1982) complementaram o modelo de Walker e colaboradores da relação entre a pressão parcial de CO₂ na atmosfera e a temperatura do planeta, propondo que a taxa de intemperismo das rochas calc-silicáticas é determinada biológica e não geoquimicamente. Devido à atividade bacteriana, a pressão parcial de CO₂ no solo é 10-40 vezes mais elevada do que na atmosfera. A taxa de produção de CO₂ pelas bactérias do solo dobra a cada aumento de 10°C na temperatura. Considerando essas evidências, Lovelock e Watson argumentam que as bactérias do solo são essenciais para o funcionamento do modelo de Walker e colaboradores, desempenhando um papel

importante no controle da temperatura do planeta. Se não existisse vida na Terra, a pressão parcial de CO₂ no solo cairia a um nível mais baixo do que o atmosférico, porque a difusão limitaria a taxa de transferência deste gás para as rochas calcossilicáticas. Assim, um aumento na concentração do CO₂ atmosférico seria inevitável, levando a um novo equilíbrio, no qual o planeta teria temperaturas mais elevadas em sua superfície. A evolução de mecanismos biológicos de amplificação do intemperismo das rochas calcossilicáticas teria sido, desse modo, fundamental para a diminuição do conteúdo de gás carbônico da atmosfera, produzindo um resfriamento do planeta da ordem de 15-45°C (Lovelock & Watson, 1982, p. 799). Neste modelo de regulação da taxa de CO₂ atmosférico a biota (mais especificamente os microorganismos do solo) parece agir como sensora da mudança da temperatura e como amplificadora para aumentar a taxa de intemperismo das rochas calcossilicáticas e bombear o CO₂ da atmosfera. A presença de uma baixa pressão de CO₂ atmosférico e de uma temperatura relativamente baixa são, portanto uma consequência direta da vida. Isso consistiria com a teoria Gaia que sugere que as pressões evolucionárias garantem que os processos biologicamente dirigidos que influenciam a composição química da atmosfera e, por conseguinte o clima de modo a manter o ambiente ótimo para a biosfera será preferencialmente selecionada (Lovelock & Whitfield, 1982, p. 562). A participação dos microorganismos do solo no ciclo do CO₂ e no controle da temperatura da Terra aparece como um conteúdo teórico excedente da teoria Gaia, visto que oferece uma nova interpretação para um fenômeno antes considerado de natureza apenas físico-química.

Margulis e Lovelock também apresentam, no artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’ (Margulis & Lovelock, 1974), modelos envolvendo organismos vivos no controle da temperatura, na circulação de elementos químicos e no controle do potencial redox. Estes modelos mostram-se de extrema importância para a estrutura da teoria Gaia na década de 1970, visto que muitos deles aparecem como conteúdos empíricos excedentes desta teoria. Com relação ao controle da temperatura, Margulis e Lovelock apresentam um mecanismo que envolve organismos vivos como algas influenciando no albedo (quantidade de energia absorvida e refletida) da Terra e, consequentemente, na temperatura planetária. Segundo eles, as cianobactérias sintetizam pigmentos de colorações verde, amarela e vermelha que, juntas, podem causar a reflexão de uma coloração marrom ou mesmo preta. Variações nas quantidades, nas proporções e na exposição desses pigmentos influenciariam

a qualidade final da cobertura de algas. Estas algas também são capazes de sedimentar carbonato de cálcio, que, quando puro, apresenta coloração branca. Assim, o crescimento algal poderia atuar de modo a modificar o albedo local. As comunidades microbianas de algas e bactérias que formam estruturas como os estromatólitos são mais propícias a responder a variáveis ambientais que podem mudar as propriedades reflectivas de águas rasas e superfícies de terra (Margulis & Lovelock, 1974, p. 480). Esse mecanismo de controle da temperatura envolvendo o crescimento e a coloração de algas aparece como um conteúdo empírico excedente da teoria Gaia. O modelo de regulação da temperatura planetária proposto torna possível novas previsões com relação aos mecanismos envolvidos na participação das populações algais em sistemas de controle da Terra, algumas das quais são apresentadas pelos próprios autores.

Um outro método de controle da temperatura apresentado por Margulis e Lovelock se refere ao controle por meio de mudanças na composição dos gases da atmosfera. A adição de moléculas poliatômicas de gases como vapor d'água, dióxido de carbono ou amônia reduziria a perda de radiação da Terra para o espaço mediante a absorção de radiação infravermelha. O mecanismo consiste no conhecido efeito estufa, no qual a presença de vapor d'água, dióxido de carbono ou amônia na atmosfera mantém o planeta numa temperatura muito mais alta do que aquela na qual ele se encontraria, caso tais gases estivessem ausentes. Como se sabe, o dióxido de carbono e a amônia apresentam forte interação com a biosfera, que se apresentaria como fonte e mesmo escoadouro para estes gases. Já o vapor d'água estaria sofrendo uma influência maior dos ciclos inorgânicos (Margulis & Lovelock, 1974, p. 481). Este mecanismo de controle da temperatura da Terra, envolvendo a presença de gases estufa na atmosfera como o dióxido de carbono e/ou a amônia, é um conteúdo empírico corroborado da teoria Gaia. Como foi discutido anteriormente, a atribuição da regulação da temperatura planetária ao papel de gases como o dióxido de carbono na atmosfera é aceita tanto por cientistas como Walker (1981), que desenvolveu um modelo abiológico para explicar a regulação desse gás na atmosfera, quanto por Lovelock e Watson (1982), que consideram que os organismos tem um papel indispensável neste ciclo.

Margulis e Lovelock também apresentam como conteúdo empírico excedente da teoria Gaia a conjectura de que o ozônio (O_3) também poderia estar envolvido em um

mecanismo de controle da temperatura planetária. Eles apresentam um mecanismo em que o óxido nítrico, liberado pela biosfera em grande quantidade na atmosfera, atuaria de modo a destruir cataliticamente o ozônio estratosférico. Alterações na camada de O₃ poderiam afetar a altura da estratosfera e, assim, a circulação atmosférica (Margulis & Lovelock, 1974, pp. 481-482).

Por fim, Margulis e Lovelock (1974) apresentam um mecanismo de controle da temperatura via substâncias particuladas em suspensão. Este mecanismo, assim como os mecanismos da influência do crescimento e coloração das algas no albedo planetário e do controle do crescimento da camada de ozônio via óxido nítrico liberado pela biosfera, também aparece como um conteúdo empírico excedente da teoria Gaia. De acordo com Margulis e Lovelock, existem três formas de partículas na atmosfera que teriam importância potencial no controle da temperatura: (1) nuvens e neblinas de gotículas de água; (2) partículas e gotas de líquido produzidas por reações químicas entre os gases; e (3) partículas de material sólido, como, por exemplo, a poeira levantada dos desertos. As nuvens, segundo os autores, agiriam na temperatura do planeta da seguinte forma: se existissem poucas nuvens, a temperatura do planeta tenderia a aumentar. Já uma contínua produção de nuvens levaria a um resfriamento deste. A biosfera teria grande influência neste mecanismo. As florestas tropicais, por exemplo, atuariam por meio da evapotranspiração de uma grande quantidade de água para a atmosfera. Com relação à formação das partículas, Margulis e Lovelock sugerem que estas decorrem de reações de gases como a amônia, por exemplo, na atmosfera. Como estes gases seriam produtos de origem biológica, a biosfera também estaria atuando no controle da temperatura pela formação de tais partículas. O papel desses aerossóis na regulação da temperatura, no entanto, ainda não era claro para Margulis e Lovelock (1974, p. 482).

Com relação à produção biológica da amônia, Margulis e Lovelock (1974) atribuem a ela um papel no controle da acidez planetária, que vem mantendo-se num pH médio de 8.2 desde o surgimento da vida. A hipótese de que a amônia liberada pelos organismos vivos cumpre tal papel é mais um conteúdo empírico excedente da teoria Gaia que Margulis e Lovelock (1974) enfatizam no artigo em análise.

Já com relação à circulação de elementos químicos, Margulis e Lovelock (1974) atribuem um papel importante aos organismos nos ciclos de elementos como o enxofre e o

iodo, levantando ainda a possibilidade da existência de mecanismos semelhantes para o selênio e o fósforo. Dentre esses conteúdos excedentes da teoria Gaia, Margulis e Lovelock apresentam evidências empíricas corroboradoras de uma influência biológica no ciclo do enxofre, confirmando que o sulfeto de dimetila (DMS), um gás de origem biológica liberado pelas algas dos oceanos, funciona como um gás essencial para a transferência de enxofre para a atmosfera. A participação da biosfera no ciclo do enxofre, transferindo-o dos oceanos para a atmosfera, aparece, desse modo, como um conteúdo empírico corroborado da teoria Gaia.

Com relação à regulação do potencial redox, Margulis e Lovelock afirmam que a taxa de oxigênio atmosférico parece ser bem regulada, não tendo sofrido grandes modificações desde o período pré-cambriano. Sabe-se que a atmosfera terrestre já teve uma composição bem diferente da atual, com o CO₂ aparecendo como gás predominante. No entanto, há cerca de 2 bilhões de anos, provavelmente com o esgotamento dos reagentes passivos disponíveis e a proliferação de cianobactérias fotossintetizadoras, o oxigênio começou a acumular-se rapidamente na atmosfera e sua concentração passou de 0,0001% para 21% (Margulis & Sagan 1986). Margulis e Lovelock concluem que o potencial de oxiredução certamente é regulado, de modo a ser otimizado para a biota como um todo (Margulis & Lovelock, 1974, p. 485). Vários mecanismos biológicos têm sido propostos para a regulação do oxigênio, entre eles, mecanismos envolvendo o gás de origem biológica metano ou mesmo uma regulação da concentração de O₂ atmosférico por meio da combustão regular de florestas. Esses mecanismos também podem ser considerados conteúdos excedentes da teoria Gaia. Isso mostra como esta teoria é capaz de apresentar novos problemas a serem investigados e novas possibilidades de previsões testáveis.

A idéia da manutenção de um ambiente físico ótimo para a biosfera é criticada por Kirchner (1993). Segundo ele, ao tentar resolver esse problema surge um novo problema: É possível definir um ambiente ótimo para um organismo individual, mas qual seria o ambiente ótimo para toda a biosfera – uma coleção de diversos organismos com diferentes e mesmo conflitantes requisitos? Assim, seria difícil definir o que queremos dizer por otimização. No entanto, tal definição deve ser feita, segundo Kirchner, visto que se o critério de otimização não for devidamente especificado, Gaia otimizadora não passa de uma teoria tautológica, no sentido de que incluiria todas as possibilidades lógicas: para cada

comportamento de um sistema, seria postulada uma função objetiva que ele maximizaria. Cada ambiente concebível seria ótimo para algo, na medida em que haveria completa liberdade para especificar o que esse ‘algo’ significa (Kirchner, 1993, p. 42).

Mais duas importantes proposições teóricas aparecem para compor o cinturão protetor da teoria Gaia no artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’ (Margulis e Lovelock, 1974). A primeira delas se refere à adequação desta teoria face à teoria neodarwinista da evolução. Para Margulis e Lovelock, os mesmos mecanismos que, de acordo com a teoria neodarwinista, operam em pequenos sistemas de auto-regulação seriam capazes de operar nos sistemas de auto-regulação em larga escala propostos pela teoria Gaia:

“Nós não estamos propondo que um ‘engenheiro planetário’ teria sido contratado, mas que os mecanismos neodarwinistas de seleção natural que têm operado na origem e evolução dos exemplos de controle ambiental local também têm operado na origem desses mecanismos de modulação em mais larga escala” (Margulis & Lovelock, 1974, p. 486).⁴⁸

Com relação a esta nova proposição relacionando a teoria Gaia ao neodarwinismo, ficaremos, por enquanto, apenas com a idéia básica que aparece, neste artigo, como uma proposição auxiliar no cinturão protetor da teoria – a idéia de que Gaia e o mecanismo evolutivo proposto pelo neodarwinismo não são incompatíveis. Este assunto voltará a ser abordado neste trabalho, analisando-se os argumentos que Lovelock apresenta para defender a idéia de que Gaia não contradiz a teoria evolutiva neodarwinista, mas a complementa.

Outra idéia auxiliar que surge neste artigo é a de que a existência esparsa de vida, em uma escala planetária, implicaria desequilíbrio e instabilidade:

“Nós suspeitamos que, em uma escala planetária, a vida esparsa é um estado instável implicando nascimento recente ou morte iminente” (Margulis & Lovelock, 1974, p. 486).⁴⁹

Esta afirmação coloca em questão a quantidade de vida necessária para levar o sistema descrito por Gaia a alcançar sua capacidade de auto-regulação. Ela também aparece

⁴⁸ “We are not claiming that a “planetary engineer” was actually commissioned but rather that Neodarwinian mechanisms of natural selection that have operated in the origin and evolution of the examples of local environmental control have also operated in the origin of these larger scale modulation mechanisms”.

⁴⁹ “We suspect that on planetary scale sparse life is an unstable state implying recent birth or imminent death”.

em outros trabalhos de Lovelock, como, por exemplo, no artigo ‘Gaia the world as a living organism’ (1986), onde a necessidade de existência de vida em escala planetária é mais enfatizada:

“A vida é um fenômeno que existe em uma escala planetária. Não pode existir ocupação parcial de um planeta por organismos vivos. Tal planeta seria tão impermanente quanto meio organismo. Os organismos vivos têm de regular seu planeta; de outro modo, as forças inelutáveis da evolução física e química logo o tornariam inhabitável (Lovelock, 1986b, p. 28).⁵⁰

No livro *Gaia 2:Emergence – The New Science of Becoming*, Lovelock volta a apresentar a proposição de que a vida é necessária em larga escala para que o mecanismo de regulação planetária descrito pela teoria Gaia possa vir a existir:

“Vida é um domínio em escala planetária que emerge depois de a vida ter originado-se. Não pode existir vida esparsa em um planeta. Ele seria tão instável quanto meio animal. Os organismos vivos têm de evoluir com o seu planeta até o estágio de emergência quando eles são capazes de regular seu planeta; de outro modo, as forças inelutáveis da evolução física e química o tornariam inhabitável” (Lovelock, 1991a, p. 41).⁵¹

Neste trecho, é possível observar não só a necessidade de que a vida exista em escala planetária, como também a idéia, nuclear na teoria Gaia, de que a vida e seu ambiente devem evoluir de maneira acoplada. Esta questão, no entanto será abordada posteriormente.

Em seu livro ‘*Gaia: a New look at life on Earth*’, Lovelock faz algumas especulações a respeito do surgimento da capacidade de Gaia de regular o ambiente que parecem estar relacionadas com a idéia de que a vida esparsa não possibilitaria um pleno controle planetário. De acordo com Lovelock, o primeiro indicador da emergência de Gaia a partir de suas partes teria sido a evolução de um sistema de controle rudimentar (Lovelock, [1979]2000, p. 23). Neste sistema, Gaia teria aprendido a controlar o meio

⁵⁰ “Life is a phenomenon that exists on a planetary scale. There can be no partial occupation of a planet by living organisms. Such a planet would be as impermanent as half of an organism. Living organisms have to regulate their planet, otherwise the ineluctable forces of physical and chemical evolution would soon render it uninhabitable”.

⁵¹ “Life is a planetary-scale domain that emerges after life has originated. There cannot be sparse life on a planet. It would be as unstable as half of an animal. Living organisms have to evolve with their planet to the stage of emergence when they are able to regulate their planet, otherwise the ineluctable forces of physical and chemical evolution would render it uninhabitable”.

ambiente. Pode-se perceber que a capacidade de Gaia de controlar o meio ambiente aparece como uma propriedade emergente de uma entidade complexa, que, como afirma Lovelock em vários de seus trabalhos, seria maior do que a soma de suas partes. Em um trecho deste livro, Lovelock ([1979]2000) apresenta uma explicação sobre como Gaia teria emergido. É interessante notar que esta explicação apresenta um forte conteúdo animista, visto que Lovelock se refere a ‘Gaia’ como se esta fosse um ser com capacidade de aprendizado:

“Gaia teria aprendido por tentativa e erro a controlar o seu meio ambiente, inicialmente aos saltos e, por fim, com o refinamento do controle, teria tornado-se capaz de mantê-lo próximo a um estado ótimo para a vida” (Lovelock, [1979]2000, p. 23)⁵².

A idéia de que Gaia seria um todo maior do que a soma das partes aparece como uma proposição auxiliar importante na estrutura da teoria, tanto no primeiro livro de Lovelock sobre a sua teoria quanto em seus artigos publicados desde 1972.

Para finalizar a análise do artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’, será feito um resumo da estrutura da teoria, conforme apresentada no mesmo. Como núcleo duro da estrutura da teoria Gaia apresentada neste trabalho, tivemos as mesmas proposições encontradas nos trabalhos anteriormente discutidos, as idéias presentes nas versões fortes de Gaia – teleologia, homeostase e otimização. Também permaneceu no núcleo duro a proposição de que Gaia consiste em um sistema de controle de variáveis físico-químicas importantes na adaptação e sobrevivência dos organismos. No cinturão protetor da teoria, novas proposições auxiliares foram acrescentadas: (1) a atribuição de um papel essencial aos microorganismos, em particular, aos procariontes, nos mecanismos de regulação planetária; (2) a idéia de que não há incompatibilidade entre os mecanismos propostos pela teoria Gaia e o mecanismo da evolução biológica, segundo o neodarwinismo; e (3) a idéia de que a vida esparsa não pode constituir o sistema cibernetico proposto pela teoria Gaia, somente mostrando-se capaz de regular o ambiente físico-químico da Terra caso exista em uma escala planetária. A quantidade de conteúdo empírico excedente que aparece neste artigo é considerável, envolvendo uma série de previsões novas encontradas em modelos baseados nos ciclos de elementos químicos específicos, propostos para explicar o controle da temperatura, do pH, do potencial redox e da

⁵² “Gaia would have learned by trial and error the art of controlling its environment, at first within broad bounds and later, as control was refined, by maintaining it near the optimum state for life”.

transferência de gases atmosféricos. Como conteúdo empírico corroborado, Margulis e Lovelock apresentam o papel do DMS como um gás com a função de transferir enxofre dos oceanos para a atmosfera, completando o ciclo do enxofre, cuja incompletude fora prevista por Lovelock e colaboradores (Lovelock, Maggs & Rasmussen, 1972), com base na idéia de que os ciclos geoquímicos sempre deveriam ter um componente biológico, i. e., deveriam ser sempre biogeoquímicos. As especulações sobre a regulação do CO₂ e O₂ ainda aparecem em fase inicial. Todas as previsões novas apresentadas, apesar de ainda não serem acompanhadas por um volume significativo de dados corroboradores, funcionariam, nos anos seguintes, como bases para vários estudos empíricos, que, além de corroborarem muitas delas, trouxeram novos questionamentos e suscitaram novas especulações para os defensores da teoria Gaia. Os estudos empíricos baseados nestas previsões contribuiriam para tornar Gaia um programa de pesquisa progressivo.

O primeiro livro de Lovelock sobre a teoria Gaia, *Gaia: a New Look at Life on Earth*, foi publicado, em sua primeira edição, em 1979. Neste livro, Lovelock apresenta as principais idéias que caracterizaram a teoria Gaia na sua fase inicial. Ele descreve toda a trajetória que realizou desde o seu trabalho na NASA até a elaboração da teoria Gaia e discute a estrutura desta teoria e suas implicações para uma nova compreensão da dinâmica planetária.

Lovelock ([1979]2000) apresenta a idéia de que a atmosfera seria uma extensão dinâmica da própria biosfera como um passo crucial para o desenvolvimento da teoria Gaia. Esta idéia, que apareceu em todos os artigos até agora examinados, surgiu em consequência do trabalho de Lovelock na NASA. Para Lovelock, a única explicação para a atual composição altamente improvável da atmosfera terrestre é a de que esta esteja sendo manipulada dia após dia e que o manipulador seja a própria vida (Lovelock, [1979] 2000, p.6). A atmosfera não seria meramente um produto biológico, mas uma construção biológica, uma extensão do sistema vivo, ou, como na analogia feita por Lovelock, a atmosfera seria como a pelagem de um visão ou a concha de um caramujo, designada para a manutenção do meio ambiente (Lovelock, [1979] 2000, p. 9). Assim, a atmosfera deveria ser estudada no contexto de Gaia, dentro do qual seria apropriado questionar as funções dos gases componentes, tais como o oxigênio, o metano, o óxido nítrico, a amônia e o nitrogênio, na dinâmica atmosférica. Para Lovelock, é essencial que o estudo da atmosfera

seja realizado em seu conjunto total de gases, visto que o seu conteúdo informacional residiria neste nível, e não ao nível do estudo de cada gás isoladamente (Lovelock, [1979] 2000, p.67). Ainda segundo Lovelock, a medida da importância de um gás atmosférico não está em sua abundância. Um gás como a amônia, por exemplo, que é milhões de vezes menos abundante que o nitrogênio, tem papel tão importante quanto este último com relação à regulação atmosférica (Lovelock, [1979] 2000, p.73). Estas conclusões contradizem a geoquímica convencional, visto que a maioria dos geoquímicos considera a atmosfera como um produto final da liberação de gases planetários e postula que o seu estado atual teria sido determinado pelas reações subsequentes, decorrentes de processos abióticos (Lovelock, [1979] 2000, p. 7). A ênfase sobre o papel da biosfera na dinâmica atmosférica e planetária propiciou o surgimento de um novo conceito, ou, talvez, destaca Lovelock, a volta de um conceito muito antigo acerca do relacionamento entre a Terra e a sua biosfera (Lovelock, [1979] 2000, p. 8). Este conceito diz respeito à existência de uma relação muito íntima entre biosfera e fatores ambientais.

Após o trabalho realizado na NASA, Lovelock foi convidado para trabalhar na *Shell Research Limited*, realizando pesquisas para a verificação das possíveis consequências globais da poluição do ar por causas como, por exemplo, a taxa crescente de combustão de combustíveis fósseis. Partindo do pressuposto de que a atmosfera seria uma extensão da biosfera e de que esta última a controlaria, Lovelock concluiu que o efeito de sobrecarregar-se uma atmosfera controlada biologicamente com produtos da combustão de combustíveis fósseis deveria ser bem diferente do efeito em uma atmosfera inorgânica passiva. Mudanças adaptativas deveriam acontecer de modo a diminuir as perturbações devidas, por exemplo, ao acúmulo de dióxido de carbono. Ou as perturbações poderiam engatilhar alguma mudança compensatória no clima, que poderia, talvez, ser boa para a biosfera como um todo, mas ruim para o homem como espécie (Lovelock, [1979] 2000, p.9). Como foi discutido anteriormente, Lovelock apresenta uma visão biocêntrica e rejeita uma visão antropocêntrica do planeta. Ele considera que o efeito das mudanças adaptativas não é desastroso para Gaia. Gaia poderia sobreviver ao que poderia ser considerado uma catástrofe para o homem como espécie. Essa visão polêmica de Lovelock levou a muitas críticas à sua teoria por parte dos ambientalistas que consideraram a teoria Gaia uma defensora de atitudes poluidoras por parte das indústrias, por exemplo. Os estudos

realizados para a Shell reforçaram, para Lovelock, uma hipótese com a qual ele já vinha lidando desde suas pesquisas na NASA, a de que a biosfera poderia ser entendida como uma entidade única capaz de manipular a atmosfera terrestre, ou seja, uma das idéias nucleares da teoria Gaia:

“[...] a hipótese de que todo o espectro da matéria viva na Terra, das baleias aos vírus, e dos carvalhos às algas, poderiam ser considerados como constituintes de uma entidade sistêmica viva única, capaz de manipular a atmosfera da Terra para adaptá-la às suas necessidades globais e dotada de faculdades e poderes muito além daqueles das suas partes constituintes” (Lovelock, [1979] 2000, p. 9).⁵³

Esta nova entidade – Gaia – seria do tamanho do planeta e apresentaria propriedades que não poderiam ser previstas a partir da soma das suas partes. Lovelock apresenta Gaia da seguinte maneira:

“Gaia [...] uma entidade complexa envolvendo a atmosfera, os oceanos e o solo da Terra: a totalidade constituindo um sistema cibernetico ou de retroalimentação que busca um ambiente físico e químico ótimo para a vida neste planeta. A manutenção de condições relativamente constantes por controle ativo pode ser convenientemente descrita pelo termo ‘homeostase’” (Lovelock, [1979] 2000, p. 10).⁵⁴

Entre as idéias que aparecem no trecho acima, estão as de Gaia otimizadora, com a entidade Gaia buscando ativamente um ambiente físico e químico ótimo para a vida na Terra, e Gaia homeostática, visto que Lovelock afirma que Gaia procuraria manter o planeta Terra em condições relativamente constantes, homeostáticas. Gaia teleológica não aparece explicitamente, mas está implicitamente contida no trecho citado acima, visto que a idéia de propósito está presente na afirmação de que o sistema cibernetico ‘busca’ um ambiente físico e químico ótimo para a vida no planeta Terra. Ou seja, Gaia otimizadora implica Gaia teleológica, embora o oposto não seja verdadeiro, i.e., Gaia teleológica não implica a idéia, mais forte, de otimização.

⁵³ “[...] the hypothesis that the entire range of living matter on Earth from whales to viruses, and from oaks to algae, could be regarded as constituting a single living system entity, capable of manipulating the Earth’s atmosphere to suit its overall needs and endowed with faculties and powers far beyond those of its constituent parts” (Lovelock, [1979] 2000, p. 09).

⁵⁴ “Gaia [...] a complex entity involving the Earth’s atmosphere, oceans, and soil: the totality constituting a feedback or cybernetic system which seeks an optimal physical and chemical environment for life on this

Como foi discutido nos artigos analisados anteriormente, todos apresentando a mesma versão da teoria Gaia, as noções de teleologia, otimização e homeostase são componentes de seu núcleo duro. A idéia de sistema cibernetico de controle de variáveis físico-químicas importantes na adaptação e sobrevivência dos organismos também aparece no núcleo duro da teoria estruturada neste livro. Com relação ao papel do conceito de ‘propriedade emergente’ na teoria Gaia, este parece estar complementando a idéia nuclear de existência de um sistema cibernetico de controle, visto que, de acordo com a argumentação de Lovelock, Gaia teria surgido a partir de uma nova estrutura de relações entre suas partes – os sistemas vivos existentes na Terra. Apesar de mostrar-se importante no raciocínio de Lovelock, a idéia de emergência de propriedades não parece ser essencial à teoria Gaia, podendo ser situada em seu cinturão protetor.

Em um trecho do livro ‘*Gaia: a New Look at life on Earth*’, Lovelock apresenta novamente a estrutura da teoria, desta vez enfatizando a importância de buscar-se evidências da existência de um sistema cibernetico ao nível planetário, de modo a apoiar a tese da existência de Gaia:

“Uma das propriedades mais características de todos os organismos vivos, do menor ao maior, é a sua capacidade de desenvolver, operar e manter sistemas que fixam uma meta e então se esforçam para alcançá-la através de processos ciberneticos de tentativa e erro. A descoberta de tal sistema, operando em uma escala global e tendo como seu objetivo o estabelecimento e a manutenção de condições físicas e químicas ótimas para a vida, certamente forneceria evidência convincente da existência de Gaia” (Lovelock, [1979] 2000, pp.45-46).⁵⁵

Para Lovelock, os 3,5 bilhões de anos de experiência, pesquisa e desenvolvimento de Gaia teriam dado tempo e oportunidade para a evolução de um sistema de controle altamente sofisticado (Lovelock, [1979] 2000, p.49). Esta afirmação de Lovelock se apresenta como uma interpretação animista de Gaia. Ele atribui a Gaia a capacidade consciente de pesquisar e aproveitar oportunidades para o desenvolvimento de um sistema

planet. The maintenance of relatively constant conditions by active control may be conveniently described by the term ‘homeostasis’” .

⁵⁵ “One of the most characteristic properties of all living organisms, from the smallest to the largest, is their capacity to develop, operate, and maintain systems which set a goal and then strive to achieve it through the cybernetic process of trial and error. The discovery of such a system, operating on a global scale and having

de controle sofisticado. É interessante notar que o mesmo Lovelock, que, em alguns trabalhos, faz questão de enfatizar que Gaia não apresenta conteúdo animista, é capaz de fazer afirmações onde tal conteúdo animista é claramente sugerido. Isso mostra como é problemático entender Gaia como sujeito de ações, o que é comum quando a teoria é utilizada por ambientalistas e pensadores da Nova Era. Contudo, este modo de referir-se a Gaia é, ainda que apenas vez por outra, encontrado nas obras do próprio Lovelock.

Lovelock ([1979]2000) levanta o questionamento de como seria possível reconhecer um sistema automático de controle. Ele afirma que, mesmo que fosse possível encontrar evidências de um sistema gaiano para o controle da temperatura, a dissecação de suas alças de retroalimentação constituintes provavelmente não seria fácil, caso elas estivessem entrelaçadas tão profundamente como no caso da regulação corporal da temperatura (Lovelock, [1979]2000, p.53). Para Lovelock, um modo de reconhecer um sistema cibernetico seria através do método da caixa preta. Assumindo que a caixa preta fosse o sistema a ser reconhecido e que este estivesse funcionando normalmente, ela poderia ser testada pela modificação de alguma propriedade do seu meio ambiente, sobre a qual existisse a suspeita de ser controlada pelo sistema examinado. Esta tentativa de entender um sistema de controle pela perturbação de propriedades que ele supostamente seria capaz de controlar se mostraria, no entanto, bastante geral (Lovelock, [1979]2000, pp.53-54).

Com relação às alças de retroalimentação envolvidas na dinâmica de um sistema cibernetico, estas podem ser alças abertas de retroalimentação positiva ou fechadas de retroalimentação negativa. Uma alça aberta tenderia a amplificar o efeito de um sinal, enquanto uma alça fechada funcionaria de modo a controlar o sistema. Lovelock afirma que, em sistemas complicados como o corpo humano, retroalimentações positivas e negativas coexistem. Com relação a Gaia, estas alças também seriam de grande importância:

as its goal the establishment and maintenance of optimum physical and chemical conditions for life, would surely provide us with convincing evidence of Gaia's existence".

“Seria verdadeiro afirmar que a maior parte de nossa busca por Gaia está preocupada em descobrir se a temperatura é determinada pelo acaso, na forma de uma alça aberta, ou se Gaia existe para aplicar as retroalimentações positiva e negativa com uma mão controladora” (Lovelock, [1979]2000, pp.56-57).⁵⁶

Para Lovelock, ao considerar-se qualquer coisa que seja adaptativa, capaz de colher informação e de estocar experiência e conhecimento, como é o caso de Gaia, está sendo realizado um estudo na área da cibernetica e o que é estudado pode ser chamado de sistema (Lovelock, [1979] 2000, p.57). Ele enfatiza que existem sistemas ciberneticos inorgânicos e que é preciso tomar cuidado para não confundir esse tipo de sistema abiológico com Gaia, apesar de ser possível considerá-los como servindo de algum modo aos propósitos desta última:

“Nós não devemos nos deixar enganar assumindo que sistemas abiológicos deste tipo, os quais podem operar em escala planetária, sejam partes de Gaia; nem, por outro lado, nós devemos abandonar a possibilidade de sua adaptação e desenvolvimento para servir a um propósito gaiano” (Lovelock, [1979] 2000, p. 58).⁵⁷

Lovelock ([1979]2000) faz uma discussão sobre as construções realizadas pelas criaturas vivas. Para ele, essas construções apresentam informações acerca de suas necessidades e intenções. Ele questiona como seria possível identificar e distinguir entre os trabalhos de Gaia e as estruturas casuais decorrentes de forças naturais. Para responder a esta questão, Lovelock apresenta a definição de entropia de Boltzmann, segundo a qual a entropia é a medida da probabilidade de uma distribuição molecular. Isso se aplicaria à distinção entre os trabalhos de Gaia e trabalhos decorrentes de forças naturais, na medida em que, ao encontrar-se um conjunto molecular altamente improvável, provavelmente este seria vida ou um dos seus produtos. Caso esta distribuição fosse global em extensão, então, talvez, pudesse ser considerada um indício de Gaia (Lovelock, [1979]2000, p. 31). Este comentário de Lovelock sobre as construções das criaturas vivas aparece como mais uma

⁵⁶ “It would be true to say that the greater part of our search for Gaia is concerned with discovering whether temperature is determined by chance in the open loop fashion, or whether Gaia exists to apply negative and positive feedback with a controlling hand”.

⁵⁷ “We must not misled into assuming that abiological systems of this kind, which might operate on a planetary scale, are part of Gaia; nor, on the other hand, should we dismiss the possibility of their adaptation and development to serve a Gaian purpose”.

evidência da existência de teleologia envolvida na teoria Gaia. Em muitos momentos em que tenta apresentar evidências a favor da teoria Gaia ou mesmo estruturá-la, Lovelock se refere a idéias que envolvem a noção de propósito, ou mesmo que demandam explicações teleológicas, apesar de o próprio Lovelock negar que sua teoria tenha qualquer coisa a ver com teleologia.

Uma distribuição improvável de moléculas, segundo Lovelock, seria uma distribuição suficientemente diferente do estado de fundo (*background*) para ser reconhecida como uma entidade. Uma outra definição geral para uma distribuição improvável de moléculas estaria relacionada à necessidade de este tipo de distribuição gastar energia para o seu agrupamento a partir das moléculas em equilíbrio do segundo plano. O reconhecimento de Gaia dependeria de encontrar-se, em escala global, improbabilidades na distribuição das moléculas:

“[...] o reconhecimento de Gaia depende de descobrirmos em uma escala global improbabilidades na distribuição de moléculas tão incomuns de modo que sejam diferentes e distinguíveis, para além de qualquer dúvida razoável, tanto do estado constante quanto do estado conceitual de equilíbrio” (Lovelock, [1979]2000, p. 32).⁵⁸

A idéia de que improbabilidades em escala global sinalizariam a existência de Gaia foi apresentada desde os primeiros artigos publicados por Lovelock. Tais improbabilidades, que consistem, por exemplo, na concepção de uma atmosfera terrestre anômala em sua composição química e na regulação da temperatura do planeta mesmo com o aumento da luminosidade do sol, também aparecem no primeiro livro de Lovelock sobre sua teoria como evidências empíricas a favor da teoria Gaia, na medida em que seriam evidências observáveis da existência de um mecanismo cibernetico de controle envolvendo a biosfera e o ambiente físico e químico da Terra, capaz de manter o planeta em um estado de homeostase ótimo para a biosfera.

Lovelock explora, em seu primeiro livro sobre Gaia, o ambiente dos oceanos sob um ponto de vista gaiano. Este ambiente, assim como a atmosfera, também apresentaria um desequilíbrio químico que teria mantido-se estável desde o surgimento da vida (Lovelock,

⁵⁸ “[...] the recognition of Gaia depends upon our finding on a global scale improbabilities in the distribution of molecules so unusual as to be different and distinguishable, beyond reasonable doubt, from both the steady state and the conceptual equilibrium state”.

[1979]2000, p. 79). Ele questiona o porquê de o mar ser salgado. A resposta tradicional geralmente dada a esta pergunta é a de que a chuva e os rios arrastam constantemente pequenas quantidades de sal da terra para o mar. A superfície das águas dos oceanos evaporaria, caindo na terra como chuva, mas o sal, por ser uma substância não-volátil, não sofreria este processo. Assim, ele estaria sendo constantemente acumulado no mar, tornando os oceanos cada vez mais salgados com o passar do tempo. Ainda nesta linha de explicação, Lovelock afirma que a vida primitiva, ao surgir nos oceanos, apresentava a mesma salinidade que estes. No entanto, com o passar do tempo, quando a vida deu os primeiros passos para a colonização do ambiente terrestre, a salinização dos organismos vivos teria fossilizado-se, permanecendo no nível que prevalecia na época, enquanto que a salinidade dos oceanos teria continuado a aumentar. Isso explicaria a diferença na salinidade entre os seres vivos e os oceanos. Outra explicação dada por Lovelock para a salinidade dos oceanos seria a liberação de sal a partir do assoalho marinho. Lovelock afirma que ambos os mecanismos são explicações plausíveis de como o sal é liberado nos oceanos. No entanto, de acordo com ambas as explicações, o nível de salinidade dos oceanos deveria ter aumentado bastante desde o surgimento da vida e, no entanto, o que se observa é que este não sofreu grandes alterações a partir desse período. A única explicação para isso é a de que deve existir uma forma pela qual o sal desaparece dos oceanos na mesma taxa em que é adicionado aos mesmos (Lovelock, [1979]2000, pp. 79-80). Esta forma envolveria Gaia e os seus mecanismos de manutenção de um estado ótimo para a biosfera:

“Por que o mar não é mais salgado? Capturando um relance de Gaia, eu responderia: Porque desde que a vida teve início, a salinidade dos oceanos tem refletido a presença dos organismos marinhos e evitado níveis letais [...] Mas como? [...] Nós estamos, de fato, de volta ao escondouro buscando um processo de remoção de sal que deve, de algum modo, estar ligado à biologia do mar, caso a nossa crença na intervenção de Gaia seja bem fundamentada” (Lovelock, [1979] 2000, p. 85).⁵⁹

⁵⁹ “Why isn’t the sea more salt? Catching a glimpse of Gaia, I would answer: Because since life began, the salinity of the oceans has reflected the presence of marine organisms and avoided lethal levels [...] But how? [...] We are in fact back at the sink looking for a salt-removal process which must be in some way linked with the biology of the sea if our belief in the intervention of Gaia is well-founded ”.

De modo a explorar o caráter explicativo de sua teoria, Lovelock (Lovelock, [1979]2000) busca desenvolver mecanismos capazes de dar conta da manutenção da atual salinidade dos oceanos envolvendo a biosfera. Antes de comentar as explicações para o controle da salinidade dos oceanos envolvendo a biosfera, é interessante descrever um mecanismo físico-químico proposto para este fim. Broecker (Broecker, citado por Lovelock [1979]2000, p. 87)⁶⁰ propôs o seguinte mecanismo de controle da salinidade dos oceanos: a saída de água de braços isolados dos mares, tais como o Golfo Pérsico, por evaporação superaria a entrada de água por meio de rios e da chuva. Se a evaporação fosse prolongada, os sais se cristalizariam em grandes depósitos, que seriam eventualmente recobertos por processos geológicos. Grandes camadas de sal se encontrariam sob o solo e as plataformas continentais em todo o mundo, além de também serem encontradas na superfície. Para Lovelock, assumir tal mecanismo abiológico de controle da salinidade dos oceanos sem considerar a existência de qualquer tipo de interferência da biosfera consiste em também admitir que este processo ocorreria inteiramente ao acaso, tanto no tempo quanto no espaço. Ele poderia dar conta do fato de que o nível médio de salinidade dos oceanos se apresenta em limites toleráveis, mas flutuações grandes e letais poderiam inevitavelmente ter ocorrido como resultado da natureza casual desse processo de controle (Lovelock, [1979] 2000, p. 87).

Na tentativa de apresentar alguns possíveis mecanismos gaianos para o controle da salinidade dos oceanos, Lovelock faz algumas conjecturas que, segundo ele, serviriam de base para detalhados estudos teóricos e experimentais. Lovelock faz previsões novas, contendo conteúdo empírico em excesso e com poder heurístico para orientar tentativas de corroborá-lo. Um mecanismo envolvendo a biosfera seria o de ‘esteira de transporte’(*conveyor belt*). Nesse mecanismo, os sais seriam transportados da superfície para o fundo dos oceanos pelos sedimentos provenientes de uma chuva de detritos de animais e plantas. Estes detritos poderiam consistir das carapaças duras de algumas espécies de protistas marinhos com períodos de vida curtos ou mesmo de animais particularmente sensíveis à salinidade, que morreriam ao menor aumento da salinidade do oceano. As carapaças cairiam levando sal junto com elas para o assoalho oceânico e, então,

⁶⁰ Lovelock não coloca a referência de nenhum autor citado no livro *Gaia a new look at life on Earth* [1979]2000.

reduziriam a salinidade na superfície. A quantidade de sal que poderia ser seqüestrada dos oceanos por meio deste processo seria pequena para regular a salinidade dos oceanos, mas poderia funcionar como parte do processo de regulação (Lovelock, [1979]2000, p. 90). Uma outra possibilidade de inferir mecanismos gaianos envolvidos na regulação da salinidade dos oceanos seria a partir da modificação do mecanismo abiológico proposto por Broecker, onde os braços dos oceanos funcionariam como lagoas de evaporação da água do mar, com a consequente cristalização dos sais. No novo modelo apresentado por Lovelock, estruturas biológicas como os recifes de corais e os recifes de estromatólitos teriam um papel essencial no processo de regulação da salinidade, visto que agiriam de modo a formar tais lagoas de evaporação (Lovelock, [1979]2000, p. 91). Esta conjectura levaria a uma superação do problema apontado acima quanto ao mecanismo de Broecker, a saber, o de que ele ocorria inteiramente ao acaso. No caso do mecanismo proposto por Lovelock, parece existir um projeto, ou melhor, um propósito na formação das lagoas de evaporação.

É interessante perceber que toda a discussão feita por Lovelock a respeito da regulação da salinidade dos oceanos é feita por meio de especulações teóricas baseadas na teoria Gaia. A maioria destas especulações não se apresenta ainda como conteúdo corroborado da teoria Gaia, mas como previsões teóricas acerca de possíveis modelos regulatórios envolvendo a biota. Tais especulações a respeito do controle da salinidade dos oceanos fazem parte, portanto, do arsenal de novas possibilidades que surgem apenas através da utilização de um olhar gaiano, que considera a existência de sistemas ciberneticos de controles de variáveis físico-químicas importantes na adaptação e sobrevivência dos organismos, com os oceanos e a vida oceânica fazendo parte desses sistemas. É verdade que boa parte dessas especulações que Lovelock faz sobre possíveis sistemas de controle gaianos não foram ainda corroboradas e podem mesmo não estar corretas. Para Lovelock, no entanto, o fato de a teoria Gaia oferecer uma nova visão da Terra e de outros planetas já seria suficiente para atestar sua importância. Ele afirma em seu segundo livro, '*The Ages of Gaia: A biography of our living Earth*' que “pouco interessa se Gaia está correta ou errada, ela já tem oferecido uma visão mais nova e produtiva da Terra e dos outros planetas” (Lovelock, [1988] 1995, p.60)⁶¹.

⁶¹ “It matters little whether Gaia theory is right or wrong; already it is providing a new and more productive view of the Earth and the other planets”.

Apresentando de forma resumida a estrutura da teoria Gaia que aparece no livro *Gaia a New Look at Life on Earth* podemos observar que esta estrutura é praticamente a mesma encontrada nos artigos de Lovelock (1972), Lovelock e Margulis (1974) e Margulis e Lovelock (1974) inicialmente apresentados. Como núcleo duro desta estrutura de Gaia temos novamente a idéia da Terra funcionando como um sistema cibernetico de controle como uma idéia central da teoria Gaia, fazendo parte de seu núcleo duro. As idéias de otimização, com a entidade Gaia buscandoativamente um ambiente físico e químico ótimo, homeostase, quando Lovelock afirma que Gaia procuraria manter o planeta Terra em condições relativamente constantes e teleologia, que aparece quando Lovelock afirma que o sistema cibernetico ‘busca’ um ambiente físico e químico ótimo para a vida neste planeta ou quando ele fala em propósitos envolvidos nos gases que compõem a atmosfera terrestre atual, também constituem o núcleo duro dessa estrutura de Gaia. A importância da biosfera como responsável pela regulação da dinâmica planetária aparece no cinturão protetor da estrutura da teoria Gaia. Também está no cinturão protetor de Gaia a idéia de emergência de propriedades quando Lovelock afirma que Gaia teria surgido das características emergentes da relação entre suas partes. Mecanismos envolvendo uma relação entre fatores biológicos e o controle da salinidade dos oceanos também aparecem no cinturão protetor desta versão da teoria Gaia. Ao observar a parte empírica de Gaia podemos destacar nesta estrutura tanto conteúdos empíricos corroborados, quanto conteúdos empíricos excedentes. Lovelock apresenta um resumo das principais linhas de pesquisa realizadas por ele e colaboradores durante toda a década de setenta. Assim, boa parte dessas pesquisas, como já foi visto, faz parte da estrutura de Gaia apresentada nos artigos de Lovelock (1972), Lovelock e Margulis (1974) e Margulis e Lovelock (1974). Dentre as pesquisas realizadas durante este período temos as pesquisas envolvendo a análise do sulfeto de dimetila (DMS) e CFCs realizadas na viagem no navio de pesquisa *Shackleton* e de PAN realizada na viagem no navio *Meteor*. A partir desses trabalhos surgiram algumas evidências empíricas de Gaia como a constatação de que o DMS realmente exerce um papel importante no ciclo do enxofre, transferindo o enxofre do mar para a atmosfera e de que os CFC’s estão envolvidos no aquecimento planetário.

Segundo Lovelock (2001, p. 262), o percurso da teoria Gaia desde o seu acesso à comunidade científica na carta publicada em 1972 até a publicação do primeiro livro em

que ele a apresenta mais detalhadamente, não foi fácil. A teoria Gaia foi rejeitada tanto pelos biólogos quanto pelos geólogos que, respeitando os seus pares, acreditavam respectivamente, que a vida se adapta ao ambiente e que a presença da vida não é necessária para se explicar a evolução das rochas. Lovelock compara esta atitude dos cientistas a o que o radical filósofo francês Michael Foucault fala sobre a política – ‘A verdade não é descoberta: ela é algo produzido pela elite.’ Lovelock se considera um inocente e um verdadeiro tolo ao ter imaginado que a teoria Gaia seria aceita em tais circunstâncias (Lovelock, 2001, pp.262-263). Ainda segundo Lovelock (2001, p. 264) das cartas recebidas após a publicação de seu primeiro livro, apenas um terço eram cartas provindas de cientistas, com o restante dividindo-se entre o público geral, filósofos e religiosos. Essa rejeição por parte da comunidade científica de seu trabalho o surpreendeu, visto que apesar de nunca ter pretendido que o seu livro fosse um texto científico para especialistas, esperava que estes o lessem (Lovelock, 2001, p.264). A situação da teoria Gaia na década de setenta e início da década de oitenta é resumida por Lovelock em um parágrafo de sua biografia ‘Homage to Gaia’:

“Os críticos dizem que meu primeiro livro, *Gaia*, foi má ciência. Eles foram muito seriamente-intencionados para perceber que ele era mais uma carta de amor que um compêndio. Ele poderia ter sido escrito com menos metáforas e tornado-se mais aceitável para os cientistas, mas ele não foi um livro escrito desleixadamente; existe pouco nele que precise de mudança mais de vinte anos depois. Houve uma afirmação errada, mas esta é a natureza de todas as novas teorias na ciência. Elas não nascem perfeitas, elas evoluem e suas arestas desiguais se desgastam sob o amolador de pedras da abrasiva crítica. Isso pode ser doloroso no momento, mas como uma boa cirurgia é bem vinda em retrospecto. O problema com *Gaia* é o atentado que eu cometí ao colocar para diante uma teoria tão ousada em um livro escrito para nenhum cientista” (Lovelock, 2001, p, 310).⁶²

⁶² “Critics Said that my first book, *Gaia*, was bad science. They were too serious-minded to no notice that it was more a love letter than a textbook. It could have been written with less metaphor and made more acceptable for scientists, but it was not a carelessly written book; there is little in that needs changing more than twenty years on. There was one mistaken statement, but that is the nature of all new theories in science. They are not born perfect; they evolve and their rough edges wear away under the grindstone of abrasive criticism. It can be painful at the time, but like good surgery is welcomed in retrospect. The problem with *Gaia* is the outrage I committed by putting forward so daring a theory in a book written for no scientists”.

É interessante notar que Lovelock afirma em seu livro *Homenage to Gaia: The Life of an Independent Scientist* que a teoria Gaia do final da década de setenta ainda era uma teoria nova. Ele admite que seu primeiro livro poderia ter sido escrito de uma forma mais aceitável para a comunidade científica, mas que, no entanto, teria poucas modificações a serem feitas. Existiria também uma afirmação errada nesta teoria. Esta afirmação errada, no entanto, só foi corrigida e modificada em artigos publicados por Lovelock a partir da década de oitenta.

3.3) Evidências empíricas a favor da teoria Gaia: Confirmando Previsões Novas Derivadas da Teoria.

Além de conjecturas teóricas, Lovelock, como já vem sendo mostrado desde a análise de seus artigos iniciais, buscou desenvolver trabalhos visando à obtenção de evidências empíricas que pudessem apoiar a teoria Gaia. Apresentaremos a seguir, de maneira resumida, algumas das principais evidências empíricas que surgiram de trabalhos realizados por Lovelock a partir da década de 1970 e que aumentaram a quantidade de conteúdo corroborado de Gaia, muitas delas tendo dado origem a novos ramos de pesquisa desenvolvidos até os dias de hoje. Boa parte dessas evidências foi obtida a partir de trabalhos de medição de sulfeto de dimetila (DMS) e clorofluocarbonos (CFCs) realizados em uma viagem que Lovelock, juntamente com dois colaboradores, Robert Maggs e Roger Wade, fez no navio de pesquisa *Shackleton*. A viagem ocorreu no ano de 1971, tendo início no Reino Unido e sendo finalizada na Antártica. Lovelock, no entanto, só participou desta viagem até o Uruguai, devido ao seu projeto enviado para o Conselho Natural de Pesquisas Ambientais (NERC) não ter sido aprovado. Como resultado desta viagem, Lovelock fez descobertas importantes que levaram ao que ele denominou ‘Guerra do Ozônio’ (polêmicas com relação ao papel dos CFCs na destruição da camada de ozônio e em questões relacionadas ao aquecimento global), bem como obteve evidências a favor da participação do gás DMS, de origem biológica, no ciclo do enxofre (Lovelock, 2001, p. 207).

Um dos trabalhos empíricos realizados por Lovelock e colaboradores no *Shackleton* foi a medição do DMS através da extração de amostras de água durante o percurso da viagem (Lovelock, 2001, p. 208). Como resultado de tais análises, Lovelock chegou à conclusão de que o DMS teria o papel de transferir o enxofre dos oceanos para a atmosfera, de modo a completar o ciclo do enxofre, apresentada no artigo ‘Atmospheric Dimethyl

Sulphide and the Natural Sulphur Cycle' (Lovelock, Maggs & Rasmussen, 1972). Este trabalho funcionou de modo a corroborar a idéia de que a biosfera faria parte dos ciclos geoquímicos. Tais ciclos seriam, na verdade, ciclos biogeoquímicos.

Um outro trabalho experimental realizado por Lovelock e colaboradores a bordo do *Shackleton* envolveu medições dos CFCs atmosféricos durante toda a viagem. A partir dessas medições, Lovelock chegou a conclusões que, segundo ele, foram responsáveis pelo início da chamada ‘Guerra do Ozônio’. O interesse de Lovelock em realizar as medições dos gases CFCs em áreas não-poluídas, distantes dos centros urbanos, surgiu a partir de observações anteriores de uma densa névoa que aparecia na Inglaterra durante o verão. Esta névoa intrigou Lovelock, visto que não era observada antes da década de 1950. Ele passou então a suspeitar que tal névoa era alguma forma de fumaça, mas as fumaças na Inglaterra são um fenômeno típico do inverno, sendo liberadas por incêndios a céu aberto (Lovelock, 2001, p. 203). Lovelock passou então a desconfiar que tal névoa era consequência de algum gás liberado dos centros urbanos e raciocinou que um modo de confirmar que substâncias originadas em centros urbanos estavam sendo encontradas no ar do campo era procurar por alguma substância tipicamente antropogênica, com nenhuma fonte ou com uma fonte desprezível nos campos. Uma classe de substâncias que era conveniente para esse tipo de medição eram os CFCs que, sem dúvida, eram liberados em concentrações muito maiores nas cidades do que nos campos (Lovelock, 2001, pp. 203-205). Esses gases são utilizados como propulsores de aerossóis em desodorantes de spray e em inseticidas (Lovelock, [1979] 2000, p.97). Sua presença em níveis elevados em uma massa de ar indica a recente passagem desta por uma região urbana industrial (Lovelock, 1974a, p. 292). No trabalho empírico realizado a bordo do *Shackleton*, Lovelock e colaboradores buscavam respostas para questões como as seguintes: Os CFCs estariam sendo levados através do Atlântico para as Américas? Os CFCs estariam acumulando-se na atmosfera da Terra sem que houvesse algum meio de removê-los (Lovelock, 2001, p. 205)?

Em um trabalho desenvolvido como consequência da viagem no *Shackleton*, publicado na revista Nature, ‘Halogenated Hydrocarbons in and over the Atlantic’ – Lovelock, Maggs e Wade tiveram como principal objetivo verificar se os CFCs poderiam efetivamente mapear o ar e possibilitar a observação de seu movimento (Lovelock, [1979] 2000, p.97). Como esses gases são quimicamente estáveis e apenas levemente solúveis em

água, devendo persistir e acumular-se na atmosfera, Lovelock, Maggs e Wade se interessaram em estudar o seu potencial como traços inertes para o estudo dos processos de transferência em massa na atmosfera e nos oceanos (Lovelock, Maggs & Wade, 1973, p.194). Este experimento foi bem sucedido, visto que foi possível comparar a distribuição global do Triclorofluormetano (CCl_3F) com a distribuição predita pelos modelos para o comportamento de um gás inerte ideal. Esta comparação mostrou que o CCl_3F se comportava de acordo com o que era previsto no modelo. As medições das amostras coletadas no ar e na água levaram à observação de dois outros gases que não eram esperados, o gás iodeto de metila (CH_3I) e o tetracloreto de carbono (CCl_4). O iodeto de metila foi encontrado em uma concentração muito maior nos oceanos do que no ar. Lovelock propôs que, provavelmente, este composto teria origem biológica e que os oceanos funcionariam como fonte do mesmo, em virtude de ter encontrado algas marinhas produtoras deste gás. Este gás seria, então, o transportador natural do iodo entre os mares e a terra, realizando um papel semelhante ao DMS, provável carreador do enxofre (Lovelock, Maggs & Wade, 1973, p.195). O provável papel do CH_3I na transferência do iodo dos mares para a terra surge como uma previsão nova, um conteúdo excedente da teoria Gaia. O outro elemento encontrado neste trabalho, CCl_4 , é o tipo de elemento cuja presença em um meio ambiente natural é quase sempre atribuída à sua proveniência de áreas industriais. Este trabalho, no entanto, gerou certa dúvida a respeito da presença desse gás na atmosfera e nos oceanos, visto que, contrariando o esperado, as concentrações de CCl_4 nas regiões tropicais do sul foram tão altas quanto às encontradas nas regiões temperadas do norte. Isso seria inconsistente com a relação do mesmo com fontes domésticas e industriais (Lovelock, Maggs & Wade, 1973, p.195-196).

Durante todo o período em que esteve envolvido em trabalhos relacionados aos CFCs, Lovelock foi alvo de muitas críticas. Estas começaram a acontecer a partir de um trabalho publicado pouco tempo depois dos primeiros artigos de Lovelock a respeito da presença de CFCs em regiões livres de poluição. Neste trabalho, desenvolvido por Rowland e Molina (1974) foi atribuído aos CFCs o papel de destruidores da camada ozônio (O_3) da estratosfera. Segundo Rowland e Molina, os CFCs se decomporiam na estratosfera, liberando cloreto, e este, por sua vez, poderia depauperar a camada de O_3 . Ainda segundo eles, a continuação da emissão de CFCs consistiria em um perigo para a camada de ozônio

estratosférica. Lovelock (2000[2001], pp. 217- 218) questionava a importância dada aos CFCs de produção antropogênica como os principais destruidores da camada de ozônio, visto que, segundo ele, existiriam fontes biológicas para substâncias como o iodeto de metila, o brometo de metila e o cloreto de metila, que os ambientalistas viam apenas como produtos tóxicos oriundos de indústrias. De acordo com Lovelock, o cloro natural proveniente do cloreto de metila era uma fonte de cloro comparável aos CFCs. Assim, a natureza, de acordo com Lovelock, também estaria agindo na destruição da camada de O₃. Em um trabalho publicado em 1975, ‘Natural halocarbons in the air and in the sea’, Lovelock procurou estudar a relação do gás cloreto de metila (CH₃Cl), um gás de origem biológica encontrado em grandes quantidades na atmosfera, com a destruição da camada de ozônio. Lovelock afirma, neste trabalho, que o gás CH₃Cl seria o haleto de carbono de maior concentração na atmosfera terrestre e exerteria um papel importante na destruição da camada de ozônio. O nível de destruição da camada de ozônio causado por este gás de origem natural seria maior que o causado por gases liberados pelo homem. Partindo do pressuposto de que uma diminuição da camada de ozônio da atmosfera certamente seria prejudicial ao planeta, mas que, provavelmente, um aumento na espessura da mesma também produziria efeitos deletérios, Lovelock atribuiu um papel ativo à liberação do CH₃Cl pela biosfera. De acordo com esta nova previsão teórica de Gaia proposta por Lovelock, ao produzir tanto CH₃Cl quanto CH₃I (iodeto de metila), a biosfera estaria realizando um processo natural de depleção da camada de ozônio, de modo a controlar sua espessura (Lovelock, 1975b, p.193-194). Este trabalho de Lovelock foi questionado por Rowland, Molina e Chou (1975), que afirmaram que o efeito deletério à camada de ozônio dos gases haletos de carbono de origem antropogênica, como o diclorodifluormetano (CCl₂F₂) e o CCl₃F, seriam muito maiores do que o efeito dos haletos de carbono produzidos de forma natural, como o CH₃Cl. Para eles, tais gases de origem antropogênica apresentariam um longo período de permanência na atmosfera e um rápido aumento em sua concentração com o passar do tempo. Já os gases naturais teriam um curto período de permanência na atmosfera e seriam encontrados em um nível estável (Rowland, Molina e Chou, 1975, pp.775-776). Lovelock responde a esta crítica afirmando que, apesar de não ter dúvidas sobre os efeitos deletérios dos cloretos à camada de ozônio, sua opinião divergiria da de Rowland, Molina e Chou com relação ao que constituiria um nível perigoso desses

componentes e a qual seria o período de tempo para que este nível fosse alcançado. Lovelock afirma que, no presente, o aumento dos níveis de cloreto proveniente dos clorofluorcarbonos na atmosfera seria menor que o de CH_3Cl e CCl_4 . Ele também considera que as concentrações de clorofluorcarbonos não estariam aumentando tão rapidamente quanto afirmavam Rowland, Molina e Chou e que os efeitos do CH_3Cl na depleção do ozônio da estratosfera seriam duas vezes maiores do que os efeitos do CCl_2F_2 e do CCl_3F juntos. Além disso, Lovelock afirma que a mensuração do CH_3Cl feita em seu trabalho ‘Natural halocarbons in the air and in the sea’ foi realizada por apenas dez meses, tempo insuficiente para concluir que a concentração desse gás é constante na atmosfera (Rowland, Molina & Chou, 1975, p. 776). Com relação a discussão entre Lovelock e Rowland, Molina e Chou, é interessante observar que neste estudo, o conteúdo empírico excedente apresentado por Lovelock entra em conflito com a interpretação dominante de que o efeito deletério à camada de ozônio dos gases halotetra de carbono de origem antropogênica, como o CCl_2F_2 e o CCl_3F , seriam muito maiores do que o efeito dos halotetra de carbono produzidos de forma natural. Em um trabalho publicado em 1976, ‘Photochemical oxidation of halocarbons in the troposphere’, Lovelock, em colaboração com Cox, Derwent e Eggleton, procurou verificar até que ponto os halotetra de carbono encontrados na atmosfera têm origem antropogênica ou natural. De acordo com eles, qualquer composto de cloreto, quando difuso na estratosfera, é uma fonte potencial de cloro atômico e, portanto, pode influenciar o balanço de ozônio nesta região da atmosfera. Assim, seria importante descobrir as fontes e os escoadouros destes gases na atmosfera. Para isso, eles decidiram medir a magnitude do escoamento de halotetra de carbono por foto-oxidação por radicais hidroxilas (-OH) na troposfera (Lovelock, Cox, Derwent, Eggleton, 1976, p. 305). Como conclusão deste trabalho, Lovelock, Cox, Derwent e Eggleton verificaram que, para alguns gases halotetra de carbono, como o CH_2Cl_2 , CHCl_3 e CH_3CCl_3 , a produção unicamente industrial era insuficiente para equilibrar o escoamento devido ao ataque por radicais hidroxila. As diferenças nas concentrações desses gases entre os locais analisados, no entanto, foram consistentes com uma fonte antropogênica. Já para o CH_3Cl , foi estimada uma outra fonte, além da antropogênica. A fonte em questão seria, provavelmente, a reação do CH_3I com íons cloreto nas águas do mar. A observação da concentração de CH_3I no mar é consistente com uma ampla fonte marinha de CH_3Cl (Lovelock, Cox, Derwent, Eggleton,

1976, p. 305). A consideração da biota marinha como responsável pela alta concentração de CH₃I liberado dos oceanos e consequentemente como uma fonte de CH₃Cl traz um novo conteúdo empírico para a teoria Gaia. Este conteúdo empírico excedente da teoria Gaia consiste na atribuição à biosfera de um papel na dinâmica do gás CH₃Cl. Além disso, a provável origem biológica do CH₃I também continua aparecendo como parte do conteúdo empírico excedente da teoria Gaia neste trabalho.

Ainda com relação ao estudo de haletos de carbono, Lovelock, Pack, Cotton e Curthoys publicaram em 1977 o artigo ‘Halocarbons Behaviour from a long time series’. O objetivo deste trabalho era verificar o comportamento global dos gases CCl₃F e CCl₄, visto que o aumento contínuo desses gases na atmosfera era enigmático e o conhecimento das fontes, dos escoadouros e do tempo de vida na atmosfera do CCl₄ era escasso (Lovelock, Pack, Cotton & Curthoys, 1977, p.329). Como o CCl₃F é um gás cuja presença na atmosfera é considerada de origem completamente antropogênica, esperava-se verificar a partir de uma observação contínua, uma relação entre o CCl₃F liberado e sua concentração na atmosfera (Lovelock, Pack, Cotton & Curthoys, 1977, p. 329). Para que houvesse uma consideração apropriada desses componentes foi necessária uma visão global da concentração desses gases na atmosfera (Lovelock, Pack, Cotton & Curthoys, 1977, p.340). O resultado deste trabalho mostrou que as comparações entre as concentrações de CCl₃F com a taxa de liberação desse material foram compatíveis. Já o comportamento do CCl₄ se mostrou, aparentemente, muito diferente. Sua taxa de concentração não seguiu a estimativa esperada em nenhuma das regiões analisadas. Isso sugeriu a existência de fontes desse gás que não estavam sendo levadas em conta e de escoadouros a serem identificados (Lovelock, Pack, Cotton & Curthoys, 1977, p.343). Tal constatação surge como um conteúdo empírico excedente da teoria Gaia, visto que a fonte e escoadouro do CCl₄ não se mostram compatíveis com uma explicação baseada apenas em uma origem antropogênica desse gás, o que sugere a existência de outras fontes de CCl₄, de origem biológica.

Em 1973, dois anos após a viagem no *Shackleton*, Lovelock participou de uma outra expedição científica, desta vez como convidado, no navio de pesquisa alemão *Meteor*, que partiu de Hamburgo em direção a Santo Domingo, no Caribe. Nesta viagem, Lovelock tinha como objetivo fazer novas medições dos CFCs atmosféricos. No entanto, os seus planos foram frustrados, visto que o nível de CFCs no próprio navio era muito alto, o que

alterava os resultados das análises atmosféricas (Lovelock, 2001, p. 231-233). Como não era mais possível continuar com o projeto a que tinha se proposto, Lovelock decidiu encontrar algum outro projeto para ocupá-lo durante a viagem, optando por trabalhar com a análise de peroxiacetilnitrato (PAN) (Lovelock, 2001, p. 234-235).

Em outro trabalho considerado por Lovelock como a primeira evidência empírica obtida da teoria Gaia, Lovelock e Margulis (1976) argumentam que a missão Viking poderia ser entendida como uma forma de testar a teoria Gaia em um nível planetário. A missão Viking teve como objetivo verificar a existência de vida em Marte, sendo enviadas com esse propósito duas espaçonaves para a órbita marciana. Para Lovelock e Margulis, caso a teoria Gaia estivesse correta, os resultados dessa expedição a Marte já seriam conhecidos, visto que, para que houvesse vida em Marte, seria necessário a existência, naquele planeta, de uma atmosfera semelhante à terrestre, caracterizada por uma instabilidade mantida graças à ação da biosfera. No entanto, em um trabalho realizado por Lovelock e Hitchcock, foi realizada a comparação da composição da atmosfera terrestre com as composições das atmosferas de Vênus e Marte, obtidas pela utilização de um telescópio infravermelho, instrumento desenvolvido por Peter Fellgett e utilizado pela equipe francesa no observatório Pic de Midi, de modo a verificar se, em tais planetas, a existência de vida era possível (Lovelock, 1982, p.27). Como resultado desse trabalho foi observada em Marte a presença de uma atmosfera estável, que seguia as tendências da física e da química (Lovelock & Margulis, 1976, p. 86). A atmosfera de Marte seria determinada apenas pela física e pela química e, desse modo, estaria próxima ao estado de equilíbrio químico, em contraste com a atmosfera da Terra que apresenta uma espécie de ‘assinatura’ química característica, um estado de constante desequilíbrio químico, causado pela retirada de matéria-prima e incorporação de resíduos metabólicos dos organismos. Neste artigo, Lovelock e Margulis apresentam uma versão da teoria Gaia semelhante àquela encontrada nos artigos publicados anteriormente. A biosfera é considerada um sistema com a função de regular a composição atmosférica, modificando as condições da superfície e da atmosfera terrestres de modo a alcançar um ambiente ótimo para ela. Gaia teria uma profunda associação com a atmosfera, considerada como uma parte da vida:

“A hipótese Gaia afirma que a camada mais baixa da atmosfera da Terra é uma parte integral, regulada e necessária da própria vida. Por centenas de anos, a vida tem controlado a

temperatura, a composição química, a habilidade oxidativa, e a acidez da atmosfera da terra” (Lovelock & Margulis, 1976, p. 86).⁶³

Com relação à missão Viking, Lovelock e Margulis consideram que um fracasso desta em encontrar vida em Marte não seria necessariamente uma confirmação da existência de Gaia. No entanto, tal resultado poderia funcionar como um argumento que sustentaria sua teoria. Para Lovelock e Margulis, a maioria dos experimentos científicos é designada para refutar uma hipótese, mas quando um experimento dessa natureza falha, a hipótese é fortalecida (Lovelock & Margulis, 1976, p.90).

A análise das evidências empíricas a favor da teoria Gaia, obtidas através de investigações baseadas em previsões novas decorrentes da mesma permite que concluamos que esta teoria vem apresentando uma transferência progressiva de problemas tanto teóricos quanto empíricos em seu processo de desenvolvimento. Os estudos empíricos de Gaia não cessaram; pelo contrário, eles têm trazido cada vez mais, novas possibilidades de especulações como no caso, por exemplo, dos estudos com o gás DMS. O estudo da liberação do DMS pelas algas dos oceanos na atmosfera, inicialmente projetado para verificar a existência da participação da biosfera no ciclo do enxofre foi posteriormente ampliado para a realização de pesquisas sobre o papel do DMS, e consequentemente o papel das algas, na formação de nuvens e no controle da temperatura planetária.

Lovelock, Charlson, Andreae e Warren (1987) procuraram evidências empíricas da relação entre a liberação do DMS pelas algas oceânicas, a formação de nuvens e o controle da temperatura planetária. A atribuição de um provável papel ao DMS na dinâmica planetária surgiu da constatação de que este, ao ser liberado na atmosfera, reage formando o aerossol sulfato metano sulfonato (MSA), que funciona como um núcleo de condensação de nuvens (CCN). Assim, existiria um sistema envolvendo fitoplâncton, DMS, CCN e nuvens, funcionando como um termostato planetário (Charlson et al., 1987, p. 655). A verificação de um papel do DMS neste sistema de regulação de temperatura funcionaria como uma evidência de que a biosfera está inserida em mecanismos de regulação a um nível planetário, ou seja, em última instância, uma evidência em favor da teoria Gaia.

⁶³ “The Gaia hypothesis states that the lower atmosphere of the earth is an integral, regulated, and necessary part of life itself. For hundreds of years, life has controlled the temperature, the chemical composition, the oxidizing ability, and the acidity of the earth’s atmosphere”.

Este artigo ‘Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate’, considerado por Lovelock como um dos mais importantes artigos científicos do qual ele participou, ele e seus colaboradores, Charlson, Andreae e Warren, procuraram por evidências empíricas desse suposto sistema de regulação da temperatura, com base no estudo de atmosferas oceânicas não-poluídas. O DMS é o único componente de enxofre volátil excretado pelas algas. Mesmo sendo excretado pelo fitoplâncton, a concentração de DMS na água e, consequentemente, sua taxa de transmissão para a atmosfera são fracamente relacionadas com as medidas usuais de atividade de fitoplâncton. O fluxo de DMS nos oceanos tropicais, que apresentam uma produção primária baixa, é praticamente o mesmo que o das regiões temperadas, com maior produção primária. Além disso, foi observado que, independentemente da taxa de produção primária, as regiões mais salinas e mais intensamente iluminadas parecem ter uma taxa mais alta de emissão de DMS (Charlson et al., 1987, pp. 655-656). Uma outra constatação apresentada neste trabalho é a de que a emissão global de DMS para a atmosfera é muito mais influenciada pela variação das espécies de fitoplâncton que pela produção primária total, visto que alguns grupos de algas apresentam maiores taxas de produção de DMS que outros. Em uma atmosfera marinha não-poluída, mudanças na concentração de DMS atmosférico resultará numa mudança da concentração de MSA na atmosfera e, em consequência disso, do número de partículas que agem como CCN. Sabe-se que as nuvens de gotas de água se formam apenas na presença de CCNs e acredita-se que o DMS seja a fonte preferencial de partículas do ar marinho (Charlson et al., 1987, p. 657). Sabe-se também que as nuvens influenciam na taxa de absorção ou reflexão da luminosidade do planeta (albedo planetário), e, consequentemente, na regulação da temperatura deste. Uma quantidade maior de nuvens próxima à superfície do planeta tende a aumentar o albedo, isto é, a reflexão de luz de volta para o espaço, propiciando assim, uma diminuição da temperatura. Charlson e colaboradores resumem o funcionamento da alça de retroalimentação envolvida neste modelo da seguinte maneira:

“A emissão de DMS, através de seu efeito no albedo planetário, divide com o bombeamento de CO₂ uma tendência de resfriamento. Assim, se a produção de DMS aumenta com a temperatura e/ou irradiação solar, o sinal de seu efeito climático estaria na direção correta

para compensar o que parece, para a biota, ser um fluxo solar excessivo” (Charlson et al., 1987, p. 660).⁶⁴

Eles levantam a questão de como seria possível uma atividade local de espécies vivas no oceano evoluir para servir a um altruísmo de regulação planetária. Por que uma comunidade de algas do oceano deveria fazer o extravagante gesto altruístico de produzir DMS para o benefício de, entre outras coisas, elefantes e girafas? Para eles, uma resposta possível seria a de que a biossíntese do DMS começaria como uma atividade local e se desenvolveria de modo a tornar-se, inconscientemente, benéfica para o sistema como um todo. A síntese do DMS ocorreria em consequência de algum problema local enfrentado pelas algas (Charlson et al., 1987, p. 660). De acordo com Lovelock e seus colaboradores, a função biológica do DMS ainda não é clara. Já a substância a partir da qual o DMS é originado, o propionato de dimetilsulfônio (DMSP), é importante para a osmorregulação de alguns tipos de fitoplâncton (Charlson et al., 1987, pp. 655-656). O problema local que teria levado à síntese do DMSP seria o estresse salino e o requerimento de uma substância osmorregulatória pelas algas. Assim, existiria uma possível ligação geofisiológica entre o interesse individual local de prevenção do estresse salino e o ciclo global do enxofre (Charlson et al., 1987, p. 660). Ainda segundo Lovelock ([1991]2000, p. 124), a excreção de DMS poderia trazer às algas benefícios inesperados. A cobertura de nuvens extra, decorrente da presença de um núcleo de ácido sulfúrico (formado pelo DMS do ar), modificaria o clima local, aumentando a velocidade do vento e agitando a superfície das águas, levando, assim, a uma mistura das camadas ricas em nutrientes abaixo da zona depauperada dos fotossintetizadores. A chuva também poderia auxiliar na nutrição das algas, ao levar para os oceanos partículas continentais. Além disso, as nuvens formadas acima do oceano poderiam filtrar a radiação que alcança a superfície das águas e, com isso, diminuir potenciais danos decorrentes da ação da radiação ultravioleta sobre as algas (Lovelock, [1991]2000, p. 124).

O trabalho de Charlson, Lovelock, Andreae e Warren foi publicado em 1987 pela revista *Science*, representando, segundo Lovelock (2001, pp. 270-271), o ponto de virada para a sorte de Gaia. Para Lovelock, esse trabalho teria sido capaz de fazer com que ‘Gaia’

⁶⁴ “DMS emission, through its effect on the planetary albedo, shares with CO₂-pumping a cooling tendency. So if the DMS production increases with temperature and/or solar irradiance, the sign of its climatic effect

se tornasse um nome respeitável na ciência. Não se pode esquecer, contudo, o impacto positivo do modelo do mundo das margaridas e de outros modelos geofisiológicos posteriores.

3.4) A Terra é Viva? Alguns Comentários Adicionais.

Lovelock afirma, no livro *Gaia: the practical science of planetary medicine*, que a proposição de que a Terra é viva é metafórica. Esta afirmação nos remete ao problema da denominação da teoria de Lovelock como ‘Gaia’. Tal denominação tem levado a inúmeras interpretações errôneas da teoria. Kirchner (1993, p. 46. Ênfase no original) comenta esse problema, afirmando que “a percepção comum é a de que Gaia significa que ‘a Terra é viva’ ou que a biosfera está tentando fazer uma boa casa para si própria aqui. Porque muitas pessoas não compreendem os riscos de tratar afirmações poéticas como proposições científicas, o público em geral pensa que os cientistas estão ocupados tentando compreender se a Terra *realmente* é ‘viva’”. Diante deste problema, não basta afirmar, como faz Lovelock (in: Spowers, 2000, p. 26), que se trata apenas de uma metáfora. A metáfora de que a Terra é um ser vivo traz o risco, apontado por Kirchner (1993, p.46), de levar as pessoas a confundirem afirmações poéticas com proposições científicas. Kirchner (1989, pp. 226-227) observa que pode haver algum sentido no qual seja possível conceber a Terra como um organismo, mas esta analogia requer, para ser sustentada, uma estipulação de quando ela se aplica ou não se aplica. Modos específicos através dos quais a biosfera supostamente viria a exibir atributos de um organismo global (*e.g.*, homeostase) podem ser considerados hipóteses testáveis, mas a própria analogia não é testável, porque não apresenta conteúdo empírico além dos dados que sugerem maneiras específicas em que ela se aplica ou não. A analogia entre Terra e seres vivos deve ser objeto de outro tipo de investigação, de natureza teórica, na qual ela seja analisada com base em algum conceito de ‘vida’ ou ‘ser vivo’. Pode ser, por exemplo, que uma demonstração empírica de que a Terra exibe homeostase e de que esta se relaciona diretamente à ação da biosfera seja irrelevante para a classificação da Terra como um ser vivo. Afinal, esta demonstração só se mostraria relevante quando cotejada com uma definição de ‘vida’ na qual a propriedade de exibir homeostase seja considerada um atributo definidor deste fenômeno. De outro modo, seria

would be in the right direction to offset what seems, for the biota, to be an excessive solar flux”.

demonstrado apenas que entidades caracterizadas, com base em alguma definição de ‘vida’, como ‘vivas’ exibem uma propriedade que a Terra, que poderia não ser qualificada como ‘viva’ à luz daquela definição, também apresenta. Nesse caso, existiria uma analogia entre organismos e o sistema planetário, mas ela não apoiaria a proposição de que a Terra é viva (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

Na tentativa de esclarecer o significado da teoria Gaia, em face das diversas possibilidades de interpretações errôneas, Lovelock tenta explicitar melhor o conteúdo de sua teoria, mostrando o sentido em que a Terra seria considerada viva. Em uma de suas muitas analogias, Lovelock compara Gaia a uma árvore:

“Eu reconheço que ver a Terra como se ela fosse viva é uma maneira conveniente, mas diferente, de organizar os fatos da Terra. Eu sou, é claro, enviesado em favor de Gaia e tenho ocupado a minha vida pelos últimos 25 anos com o pensamento de que a Terra deve, de certas maneiras, ser viva, não como os antigos a viam, como uma deusa sensível com propósitos e presciênciа, mas mais como uma árvore que existe sem nunca mover-se exceto por seu balanço ao vento, ainda que esteja continuamente conversando com a luz do sol e o solo. Usando a luz do sol, a água e nutrientes para crescer e mudar. Mas tudo feito tão imperceptivelmente que, para mim, o velho carvalho no gramado é o mesmo de quando eu ainda era uma criança”(Lovelock, [1991]2000, p. 12).⁶⁵

Observa-se nesse trecho que Lovelock procura afastar sua teoria de interpretações animistas, ao negar que Gaia possa ser possuidora de sensibilidade, propósito ou presciênciа. Esta necessidade de elucidar que Gaia não é uma teoria animista aparece como uma consequência da ambigüidade da denominação dada por Lovelock à sua teoria, visto que, ao ser comparada com uma Deusa, a Terra poderia, em princípio, apresentar características de um ser consciente. A afirmação de que a Terra não é viva desde um ponto de vista animista aparece de maneira ainda mais direta em outro trecho do livro:

“Ainda assim, quando eu falo de um planeta vivo, eu não estou pensando de uma forma animística, em um planeta com sentimento, ou em pedras que podem mover-se por sua

⁶⁵ “I recognize that to view the Earth as if it were alive is just a convenient, but different, way of organizing the facts of the Earth. I am, of course, prejudiced in favour of Gaia and have filled my life for the past 25 years with the thought that the Earth might in certain ways be alive, not as the ancients saw her, as a sentient goddess with purpose and foresight, but more like a tree that exists, never moving except to sway in the wind, yet endlessly conversing with the sunlight and the soil. Using sunlight and water and nutrients to grow and

própria vontade e propósito. Eu penso em qualquer coisa que a Terra possa fazer, tal como regular o clima, como algo automático, e não feito através de um ato da vontade, e tudo isso dentro das fronteiras estritas da ciência” (Lovelock, [1991]2000, p. 31).⁶⁶

Lovelock faz uma outra analogia entre a Terra e uma árvore, desta vez uma espécie de sequóia que apresentaria a mesma estrutura da Terra, sendo formada em sua maior parte por matéria não-viva e apresentando apenas uma pequena camada de vida em sua superfície:

“A sequóia é como Gaia, porque a Terra também é feita de uma vasta massa de matéria morta, com uma fina camada de organismos envoltos por uma pele protetora e transparente de ar” (Lovelock, [1991]2000, p. 31).⁶⁷

Mesmo apresentando cerca de 97% de sua composição constituída de matéria morta, a sequóia é um organismo vivo. Com a Terra, aconteceria o mesmo.

Em mais uma analogia, desta vez entre Gaia e grandes ecossistemas e árvores, Lovelock apresenta a Terra viva como algo que estaria entre a matéria inanimada e um organismo sensível. Essa maneira de situar a Terra é uma forma de Lovelock admitir que esta não pode ser considerada viva da mesma forma como o são os organismos típicos, mas que, ao mesmo tempo, devido a várias semelhanças com tais organismos, ela também não poderia ser relevada à categoria de matéria inanimada:

“É claro que a Terra não é viva como um animal, capaz de reproduzir a si mesmo e ter sua progênie evoluindo em competição com outros animais. Ela é um super-organismo, viva como os grandes ecossistemas ou algumas árvores gigantes, a maior forma de vida que nós já conhecemos. Eu acho errado que a ciência negue o estatuto de vida a tais entidades, um estado de vida intermediário entre a matéria inanimada e um organismo sensível, porém maior e com mais tempo de vida do que a maioria dos organismos” (Lovelock, [1991]2000, p. 36).⁶⁸

change. But all done so imperceptibly that, to me, the old oak tree on green is the same as it was when I was a child”.

⁶⁶ “Yet when I talk of a living planet, I am not thinking in an animistic way, of a planet with sentience, or of rocks that can move by their own volition and purpose. I think of anything the Earth may do, such as regulating the climate, as automatic, not through an act of will, and all of it within the strict bounds of science”.

⁶⁷ “The redwood tree is like Gaia because the Earth also is made of a vast mass of dead matter, with a thin layer of living organisms encompassed within a protective transparent skin of air”.

⁶⁸ “Of course the Earth is not alive like an animal, able to reproduce itself and have its progeny evolve in competition with other animals. It is a superorganism, alive like the great ecosystems or some giant tree, the

Observa-se nesse trecho que Lovelock considera a Terra como um super-organismo. Tal afirmação surge a partir da proposição de analogias entre a Terra e os organismos vivos. O conceito de ‘super-organismo’, no entanto, é uma das noções mais polêmicas na história da Ecologia (e.g., Simberloff 1980), e a referência a ele torna a teoria Gaia ainda mais controversa. A inspiração para esta idéia se encontra em Hutton (para Lovelock, um precursor de sua hipótese), que concebia a Terra como um super-organismo e afirmou que seu estudo apropriado seria através da Fisiologia (Lovelock 1991b, p. 31, 1993, p. 3, 1997, p. 619). Hutton chegou a propor uma analogia entre a circulação sanguínea e a circulação de nutrientes na Terra. Essa analogia mostra um problema que torna noções como a de ‘super-organismo’ tão controversas: embora analogias e metáforas sejam elementos indispensáveis da teorização científica, elas se tornam problemáticas quando há mais diferenças do que semelhanças entre os elementos que colocam em relação (Van Der Weele, 1995; Rocha & El-Hani, 1996;) Lima-Tavares & El-Hani, 2001). Para muitos filósofos da ciência, as metáforas cumprem papéis importantes na teorização e na comunicação das teorias científicas (Rocha & El-Hani 1996). No entanto, esta idéia não é um consenso entre os cientistas, sendo possível encontrar com freqüência a objeção de que as metáforas, embora sejam importantes na ciência imatura ou na divulgação científica, seriam irrelevantes nas partes teoricamente desenvolvidas da ciência (Van Der Weele, 1995, p.7). Este posicionamento é criticado por Van Der Weele (1995) que atribui um importante papel para as metáforas na ciência. Um posicionamento de objeção a utilização das metáforas na ciência pode ser observado na crítica de Kirchner (1993) à teoria Gaia, em parte baseada na natureza supostamente metafórica desta teoria (ver adiante).

Em outros trechos do livro *Gaia: the practical science of planetary medicine*, Lovelock deixa clara a posição de que Gaia pode não ser viva de acordo com certas propriedades geralmente atribuídas aos organismos vivos, como, por exemplo, a capacidade de reprodução e evolução, mas, certamente, Gaia apresentaria semelhanças suficientes com estes organismos para não ficar na categoria de matéria inanimada. Gaia poderia ser, na sua visão, colocada na categoria de uma entidade ‘quase-viva’:

largest life form we yet know. I think it wrong of science to deny the status of life to such entities, a state of life intermediate between inanimate matter and a sentient organism, yet greater and longer lived than most organisms”.

“Mesmo se você não admitir que o sistema da vida e de seu ambiente na Terra, que eu chamo de Gaia, é vivo – vivo como uma árvore –, você certamente irá admitir que ele é mais vivo do que um helicóptero ou qualquer máquina” (Lovelock, [1991]2000, p. 13).⁶⁹

“Tanto Descartes como os neodarwinistas limitam uma propriedade geral, alma ou vida, a uma classe específica de proprietários. É possível, é claro, aceitar esta visão limitada e olhar para Gaia não como algo vivo, mas, ainda assim, como algo especial, capaz de regular a si mesma de uma forma parecida com um organismo vivo. Algo muito diferente dos planetas mortos Marte e Vênus. Talvez os neodarwinistas possam aceitar ‘quase-viva’ como uma categoria para Gaia e para ecossistemas, colméias e outros sistemas que contêm organismos e exibam auto-regulação” (Lovelock, [1991]2000, p. 31).⁷⁰

Já no artigo ‘Gaia the world as a living organism’ (1986), Lovelock afirma taxativamente que a reprodução não é um atributo necessário para a vida em escala planetária:

“Em uma escala planetária, a vida é quase imortal e não tem necessidade de reproduzir-se” (Lovelock, 1986b, p. 28).⁷¹

Uma análise dos trechos discutidos acima, relacionados à atribuição de vida ao sistema descrito pela teoria Gaia, mostram que este tópico constitui um objeto de estudo interessante. Ele foi abordado em trabalhos anteriores (Lima-Tavares 2000, El-Hani & Lima-Tavares 2001, Lima-Tavares & El-Hani 2001), os quais procuraram verificar se a proposição de que a Terra é viva poderia ser defendida a partir de três conceitos de vida, encontrados em diferentes paradigmas da biologia teórica – neodarwinismo, teoria da autopoiese e biossemiótica. Nestes trabalhos, foi possível verificar que a idéia de que a Terra é viva não é compatível com as definições de vida encontradas na biologia evolutiva neodarwinista e na biossemiótica. Já com relação à definição de vida autopoietica, a proposição de que a Terra é viva poderia de alguma forma ser sustentada, mas ainda com um certo grau de dúvida. Isso acontece porque existe a possibilidade de se fazer uma

⁶⁹ “Even if you do not concede that the system of life and its environment on Earth, which I call Gaia, is alive –alive as a tree – you will surely admit that it is more alive than a helicopter or any machine”.

⁷⁰ “Both Descartes and neo-Darwinists limit a general property, soul or life, to a specific class of owner. It is possible, of course, to accept this limited view and look on Gaia not as alive, but still as something special, able to regulate itself in a way like a living organism. Something quite different from the dead planets Mars and Venus. Perhaps neo-Darwinists might accept “quasi-living” as a category for Gaia and for ecosystems, beehives, and other systems that contain organisms and exhibit self-regulation”.

analogia entre a definição da vida como autopoiese - que enfatiza a idéia da organização de um sistema vivo como um conjunto de processos de produção que geram seus próprios componentes, enquanto estes mesmos componentes participam dos processos de produção do sistema numa recriação contínua deles próprios – e a teoria Gaia – derivada da proposta de Lovelock de que o planeta Terra seria capaz de auto-regulação, mantendo-se num estado de homeostase. É possível pensar no planeta Terra, nos termos da teoria Gaia, como uma unidade autopoietica, fechada em termos organizacionais. Nesses termos, a Terra poderia ser qualificada como um ser vivo, à luz da teoria da autopoiese. A dúvida em se considerar a Terra viva de acordo com o conceito de vida autopiético surge no momento em que Fleischaker (Fleischaker, 1988), por exemplo, questiona se há outros exemplos de sistemas autopoieticos além dos biológicos. Capra (1996) apesar de enfatizar a natureza autopoietica do sistema de Gaia, também admite que muitas vias e processos nos ecossistemas não são conhecidas com suficiente detalhe para que se decida se uma rede ecológica poderia ou não ser qualificada como autopoietica (Capra, 1996, p. 214). A questão que surge com relação a classificação da Terra como viva de acordo com a autopoiese é: Em que sentido, precisamente, se poderia dizer que a Terra, como os sistemas vivos mais típicos, produz a si mesma (El-Hani & Lima-Tavares, 2001, p.88)?

A utilização de analogias por Lovelock, como principal recurso na caracterização de Gaia como um sistema vivo, poder ser relacionada à sua afirmação, em trabalhos anteriores (ver acima), de que não seria necessário o rigor de empregar um enunciado formal de vida na biologia. No entanto, em trabalhos mais recentes, como o livro *Gaia the Practical Science of Planetary Medicine* (Lovelock, [1991]2000), ele utiliza, se não exatamente definições, pelo menos algumas caracterizações ou visões sobre a vida. Ele se refere à visão do físico (*the physicist's view*), à visão do neodarwinista (*the neo-Darwinist's view*), à visão do bioquímico (*the biochemist's view*) e à visão do geofisiologista (*the geophysicist's view*) sobre a vida.

Lovelock caracteriza a visão do físico como uma que “define a vida em termos de uma redução na entropia. Absorvendo energia livre, um organismo vivo é capaz de

⁷¹ “On a planetary scale, life is near immortal and has no need to reproduce”.

diminuir a sua entropia interna, excretando energia de baixa qualidade através de sua fronteira” (Lovelock, [1991]2000, p. 28).⁷²

Para os neodarwinistas, “a vida é uma propriedade de entidades moleculares orgânicas que lhes permite crescer e reproduzir-se. Quaisquer erros de reprodução são corrigidos através do processo de seleção natural” (Lovelock, [1991]2000, p. 28).⁷³ A definição neodarwinista de vida é apresentada de maneira mais completa por Maynard Smith (1986) e Emmeche (1997).

Maynard Smith afirma que a vida pode ser definida mediante a presença das propriedades necessárias para a evolução por seleção natural: “... entidades com as propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas, e entidades que não possuem uma ou mais destas propriedades não o são” (Maynard Smith, 1986, p. 23). Emmeche, por sua vez, define a vida no contexto da biologia evolutiva neodarwinista como segue: “a vida é uma propriedade de populações de entidades que (1) se auto-reproduzem, (2) herdam características de seus predecessores por um processo de transferência informacional de características hereditárias (implicando uma distinção entre genótipo e fenótipo), (3) variam devido a mutações aleatórias (no genótipo), e (4) têm as chances de deixar descendentes determinadas pelo sucesso da combinação de propriedades (herdadas como genótipo e manifestas como fenótipo) diante dos desafios do regime seletivo ambiental” (Emmeche, 1997). Com relação a essas definições, é preciso enfatizar que termos como ‘genótipo’ e ‘fenótipo’ não implicam necessariamente genes feitos de DNA e organismos compostos de células, devendo ser interpretados como referências gerais a quaisquer tipos de replicadores e interagentes (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).⁷⁴

A visão bioquímica da vida é apresentada por Lovelock como uma que “considera que um organismo é vivo se ele for capaz de utilizar energia livre (da luz do sol ou do alimento) para crescer de acordo com suas instruções genéticas” (Lovelock, [1991]2000, p.

⁷² “The physicist defines life in terms of a reduction in entropy. By taking in free energy, a living organism is able to decrease its internal entropy, excreting low-grade energy across its boundary”.

⁷³ “Life to a neo-Darwinist is a property of organic molecular entities that allows them to grow and reproduce. Any errors of reproduction are corrected through the process of natural selection”.

⁷⁴ Um replicador, conforme definido por Dawkins (1979, p. 36), é uma molécula que apresenta a propriedade de fazer cópias de si mesma, ou, em termos mais gerais, qualquer estrutura que, no ambiente correto, pode agir como molde para sua própria cópia (Sterelny, 2001, p. 17). Um interagente é qualquer entidade que interage como um todo com o ambiente, com seu sucesso adaptativo frente às pressões seletivas presentes em cada circunstância ambiental determinando as chances de os replicadores passarem cópias para a próxima geração (Hull, 1981).

28).⁷⁵ Por fim, a visão geofisiológica da vida afirma que “a vida é uma propriedade de um sistema limitado que é aberto ao fluxo de energia e matéria e que é capaz de manter sua condição interna constante, a despeito das mudanças nas condições externas” (Lovelock, [1991]2000, p. 28).⁷⁶

Segundo Lovelock, a visão geofisiológica da vida torna possível caracterizar o sistema descrito por Gaia como vivo, visto que “a Terra é limitada do lado de fora pelo espaço, para o qual ela irradia energia, a luz solar entrando e a radiação térmica saindo. Ela é limitada do lado de dentro por seu espaço interior, o vasto volume de rochas quentes maleáveis que sustentam a crosta e com as quais a crosta troca matéria” (Lovelock, [1991]2000, p. 29).⁷⁷ Além disso, Lovelock afirma que é razoável considerar-se a Terra como um sistema em homeostase conforme a visão geofisiológica da vida, visto que seu clima, apesar do aumento da luminosidade solar, vem mantendo-se em um estado confortável para a vida desde o surgimento desta, há cerca de 3,5 bilhões de anos, e o nível de O₂ da Terra também tem sido mantido há centenas de milhões de anos (Lovelock, [1991]2000, p. 29). Segundo ele, Gaia também poderia ser considerada viva a partir das visões do físico e do bioquímico. Lovelock chega a esta conclusão com base na afirmação de que “a Terra certamente usa energia solar e conduz um tipo de metabolismo em escala planetária. Ela absorve energia livre de qualidade elevada na forma de luz solar, reduz sua entropia dentro dos limites planetários, e excreta energia de baixa qualidade para o espaço, como radiação infravermelha. Ela também troca materiais químicos com o espaço interno do interior da Terra” (Lovelock, [1991]2000, p. 29)⁷⁸.

A atribuição de vida à Terra com base nas visões do físico e do bioquímico, no entanto, apresenta aspectos controversos. Com relação à visão do físico, é necessária uma maior discussão sobre a caracterização da vida como uma estrutura dissipativa.

⁷⁵ “A biochemist considers an organism to be alive if it is able to utilize free energy (either from sunlight or food) to grow according to genetic instructions”.

⁷⁶ “To a geophysicist, life is a property of a bounded system that is open to a flux of energy and matter, and that is able to keep its internal conditions constant, despite changing external conditions”.

⁷⁷ “The Earth is bounded on the outside by space with which it radiates energy, sunlight coming in and heat radiation going out. It is bounded on the inside by inner space, that vast volume of plastic hot rock that supports the crust and with which the crust exchanges matter”.

⁷⁸ “The Earth certainly uses solar energy and conducts a kind of metabolism on a planetary scale. It takes in high-grade free energy as sunlight, reduces its entropy within the planetary boundaries, and excretes low-grade energy as infrared to space. It also exchanges chemical materials with the inner space of the Earth’s interior”.

Estruturas dissipativas são estruturas cuja manutenção requer uma entrada constante de energia e cujo efeito é dissipar essa energia (Maynard Smith 1986, p. 16). Um organismo se mantém vivo no seu estado altamente organizado retirando energia de alta qualidade do meio externo e processando-a para produzir, dentro de si, uma redução da entropia (Schneider & Kay, 1997, p. 188). Segundo Schneider e Kay (1997), os organismos vivos pertencem a uma categoria de sistemas abertos ao fluxo de energia e/ou matéria que se encontram em estados quase estáveis, a uma certa distância do equilíbrio (Schneider & Kay, 1997, p. 190). Os redemoinhos de água e as chamas, que mantêm formas fixas apesar do fluxo de água e de gás, respectivamente, também pertencem a esta categoria. Os sistemas organizados não-vivos e os sistemas vivos dependem, ambos, de fluxos energéticos externos para manter sua organização e dissipam gradientes de energia para realizar este processo de auto-organização (Schneider & Kay, 1997, p. 188).

De acordo com Schneider e Kay (1997), a vida pode ser vista como uma estrutura dissipativa afastada do equilíbrio que mantém seu nível local de organização à custa de produzir entropia no ambiente. Eles sugerem, inclusive, que, se considerarmos a Terra como um sistema termodinâmico aberto com um grande gradiente imposto sobre ela pelo Sol, a ‘segunda lei reformulada’⁷⁹ irá reduzir esse gradiente utilizando todos os processos físicos e químicos disponíveis. Assim, a concepção de sistemas dissipativos apresentada por Schneider e Kay se mostra compatível com a definição de vida do físico, apresentada por Lovelock para justificar a atribuição de vida à Terra.

Maynard Smith (1986, p. 16), apesar de concordar que tanto os redemoinhos de água quanto as chamas são estruturas dissipativas, afirma que são necessárias algumas considerações antes de classificar-se a vida como uma estrutura dissipativa. Um aspecto a ser enfatizado é o fato de que, nos organismos, ao contrário do que ocorre com os

⁷⁹ De acordo com a segunda lei da termodinâmica, qualquer processo real somente pode prosseguir em uma direção que resulte em aumento de entropia (Schneider & Kay, 1997, p. 190). A ‘segunda lei reformulada’ foi desenvolvida para lidar com a classe dos sistemas fora do equilíbrio (Schneider & Kay, 1997, p. 191). De acordo com essa lei, “à medida que os sistemas são afastados do equilíbrio, eles irão utilizar todas as vias disponíveis para contrariar os gradientes aplicados. À medida que o gradiente aplicado aumenta, também aumenta a habilidade do sistema de opor-se a outros afastamentos do equilíbrio” (Schneider & Kay, 1997, p. 192). Schneider e Kay acrescentam que, se as condições dinâmicas e/ou cinéticas permitirem, surgirão processos de auto-organização que promovem a dissipação de gradientes. O aparecimento de estruturas auto-organizáveis coerentes não seria uma surpresa, e sim uma resposta previsível de um sistema, à medida que ele tentasse resistir e dissipar gradientes aplicados externamente e que o afastariam do equilíbrio. Portanto, teríamos ordem a partir da desordem nas estruturas dissipativas (Schneider & Kay, 1997, p. 192).

redemoinhos de água e com as chamas, nem todos os átomos estão em um estado de fluxo. Muitas moléculas grandes, como proteínas e ácidos nucléicos, permanecem invariáveis ao longo da vida adulta de um organismo, sendo compostas pelos mesmos átomos desde o princípio até o final desta fase da vida (Maynard Smith, 1986, pp. 16-17). O grau em que isso ocorre varia muito entre os organismos, entre as partes dos organismos e entre diferentes tipos de moléculas. Não obstante, é verdade que a manutenção do estado vivo requer um fluxo constante de energia pelo sistema. É necessário que seja disponibilizada energia, seja na forma de componentes químicos apropriados ou na forma de luz solar, e, em ambos os casos, existem átomos entrando e saindo constantemente da estrutura do organismo. As diferenças entre redemoinhos de água, chamas e organismos, segundo Maynard Smith (1986, p. 17), consistem em que a estrutura dos organismos é enormemente mais complexa que a de um redemoinho ou de uma chama, e o fluxo de energia nos organismos é controlado. Este controle dependeria da existência continuada das grandes moléculas e das estruturas maiores que elas compõem. As formas como esses controles operam são objeto da bioquímica e da fisiologia (Maynard Smith, 1986, p. 17).

Podemos perceber, desse modo que a caracterização da vida como uma estrutura dissipativa é controversa, com questões ainda em aberto, como, por exemplo, aquelas concernentes ao fato de os organismos não apresentarem um fluxo de todas as suas moléculas e à presença de um controle do fluxo de energia em sistemas vivos. Assim, a utilização da ‘visão do físico’ para apoiar a idéia de que a Terra é viva de fato permite avanços interessantes na discussão a este respeito, mas não sem envolver controvérsia.

A definição bioquímica da vida apresentada por Lovelock também resulta em controvérsias. Como acabamos de discutir, os organismos são extremamente complexos e o seu fluxo de energia é controlado bioquímica e fisiologicamente. Tal controle, em última instância, está condicionado pela informação genética. Assim, ao aplicarmos a visão bioquímica de vida proposta por Lovelock ao problema da definição da Terra como viva, deparamo-nos com a seguinte questão: quais seriam as ‘instruções genéticas’ que dirigiriam o ‘crescimento da Terra’?

A definição neodarwinista de vida, como argumentamos em trabalhos anteriores (Lima-Tavares 2000, El-Hani & Lima-Tavares 2001, Lima-Tavares & El-Hani, 2001) e o próprio Lovelock admite (*e.g.*, in: Spowers 2000, p. 27; Lovelock, [1991]2000, p. 29)

também é incompatível com a asserção de que a Terra é viva. Lovelock afirma que as maiores objeções à teoria Gaia vieram das afirmações dos neodarwinstas de que Gaia não pode reproduzir-se e, consequentemente, não pode evoluir em competição com outros planetas, não podendo, assim, ser considerada viva. Ele, no entanto, sem ter na devida conta o papel central do pensamento darwinista nas ciências biológicas, critica esta definição de vida como sendo limitada, ao afirmar que “tanto Descartes como os neodarwinistas limitam uma propriedade geral, alma ou vida, a uma classe específica de proprietários” (Lovelock, [1991]2000, p. 29)⁸⁰ Em mais uma de suas analogias, desta vez buscando desconsiderar as críticas dos neodarwinstas, Lovelock afirma:

“É verdade que Gaia não é viva como eu ou como você. Ela não tem nenhum sentido de propósito, ela não pode mover-se por vontade própria, ou fazer amor. Mas o mesmo vale para muitas bactérias” (Lovelock, [1991]2000, p. 29).⁸¹

Esta analogia, assim como muitas outras feitas em seus trabalhos, mostra novamente o perigo de propor-se analogias entre elementos que apresentam mais diferenças do que semelhanças. Lovelock tenta justificar uma provável limitação na definição de vida neodarwinista a partir de uma inadequação das bactérias diante desta, afirmando, por exemplo, que as bactérias, assim como Gaia, não poderiam fazer amor. Mas, é fato bem conhecido que, primeiro, bactérias se reproduzem de modo assexuado e, segundo, que são capazes de trocar material genético por processos como a conjugação. A Terra, por sua vez, não exibe tais propriedades.

A definição de vida neodarwinsta pode não ser compatível com a idéia de que a Terra é viva, mas não é, por isso, uma definição de vida limitada como Lovelock propõe. Pode-se dizer que não é possível justificar a proposição de que a Terra é viva com base em definições encontradas em paradigmas biológicos. A falta de um paradigma biológico capaz de justificar a idéia de que Gaia é um sistema vivo conforme foi enfatizado em nossos trabalhos anteriores a este respeito (Lima-Tavares 2000; Lima-Tavares & El-Hani 2001; El-Hani & Lima-Tavares 2001), é admitida nos trabalhos do próprio Lovelock. A proposição de que a Terra é viva não nos parece, no entanto, um conteúdo imprescindível da teoria Gaia, apesar de Lovelock e Margulis a terem apresentado, inicialmente, desta maneira.

⁸⁰ “Both Descartes and neo-Darwinists limit a general property, soul or life, to a specific class of owner”.

A afirmação de que a Terra poderia ser considerada viva, quase-viva ou mesmo não-viva não interfere na idéia principal que a caracteriza como um programa de pesquisa, ou seja, que constitui, de acordo com nossa interpretação, seu núcleo duro: a proposição de que existiria no planeta um sistema cibernetico de controle de variáveis físico-químicas importantes para a adaptação e sobrevivência dos organismos.

Ainda segundo nossa interpretação, as idéias relacionadas à atribuição de vida a Gaia (ou à Terra, visto que Lovelock, na maior parte de seus trabalhos, considera Gaia e Terra como sinônimos) são localizadas no cinturão protetor da teoria Gaia, na forma de proposições metafísicas.

3.5) Metáforas e Gaia

Em seu primeiro livro, Lovelock apresenta Gaia como uma hipótese e afirma que esta apresenta valor teórico comprovado e, além disso, também já teria propiciado questões experimentais com respostas proveitosas:

“A Gaia deste livro é uma hipótese, mas, como outras hipóteses úteis, ela já provou o seu valor teórico, se não a sua existência, ao resultar em questões experimentais e respostas as quais foram exercícios proveitosos em si mesmas” (Lovelock, [1979] 2000, pp. 10-11).⁸²

Na afirmação acima, Lovelock enfatiza tanto o valor teórico quanto empírico de Gaia, este último podendo ser verificado nos trabalhos experimentais até então realizados com base nesta teoria. É interessante observar que nesse trecho Lovelock passa sem justificativa de um argumento epistemológico sobre o valor teórico de Gaia para um argumento ontológico sobre sua existência. A afirmação de Lovelock de que Gaia apresenta tanto valor teórico quanto empírico se mostra particularmente relevante para a análise da científicidade da teoria Gaia de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos, visto que o caráter progressivo de um programa de pesquisa é basicamente determinado por sua capacidade de resultar em novidades teóricas e/ou empíricas. Como

⁸¹ “It is true that Gaia is not alive like you and me. It has no sense of purpose, it cannot move by its own will, or make love. But then neither can many bacteria”.

⁸² The Gaia of this book is a hypothesis but, like other useful hypothesis, she has already proved her theoretical value, if not her existence, by giving rise to experimental questions and answers which were profitable exercises in themselves” .

veremos mais adiante, Lovelock apresentou uma grande quantidade de conjecturas teóricas originais e evidências empíricas apoiando tais conjecturas desde a formulação inicial da teoria Gaia. Estas conjecturas e evidências levaram a modificações no cinturão protetor da teoria, sendo muitas dessas modificações, por sua vez, responsáveis pelo surgimento de novidades teóricas e/ou empíricas adicionais. Um exemplo de previsão nova decorrente da teoria Gaia e apoiada por dados empíricos fornecidos por estudos dos quais o próprio Lovelock participou foi a hipótese de que deveria existir um composto de origem biológica para completar o ciclo do enxofre. Este exemplo foi mencionado anteriormente e será explicado em maiores detalhes mais abaixo. Por ora, é suficiente destacar o progresso empírico suscitado pela teoria Gaia com a descoberta do gás sulfeto de dimetila (DMS), postulado como um composto que completaria o ciclo do enxofre. Esse gás de origem biológica, um carreador do enxofre dos mares para a atmosfera, realiza um papel originalmente atribuído ao H₂S, gás que não é liberado por seres vivos. Esta descoberta não somente mostra o poder heurístico da teoria Gaia, mas também apresenta-se como um apoio empírico a esta teoria, na medida em que atesta a pertinência de conceber-se que os ciclos dos elementos químicos devem envolver agentes biológicos e também pode ser interpretada no sentido de um papel ativo desempenhado pela biosfera na regulação do ciclo do enxofre.

Ainda segundo Lovelock ([1979] 2000, p.58), caso fossem descobertas evidências suficientes de um sistema de controle do tamanho do planeta utilizando os processos ativos de plantas e animais como partes componentes e com a capacidade de regular o clima, a composição química e a topografia da Terra poder-se-ia substanciar a hipótese Gaia e formular uma teoria. Essa idéia de que uma hipótese poderia ser ‘substaciada’ de modo a formular-se uma teoria mostra uma interpretação errônea de Lovelock sobre os termos metateóricos ‘hipótese’ e ‘teoria’. De acordo com a explicação de Lovelock, uma hipótese é algo que se localiza em um patamar inferior ao de uma teoria. Uma hipótese substanciada, ou uma hipótese que passe a apresentar evidências suficientes a seu favor, poderia, segundo Lovelock, tornar-se uma teoria. Assim, caso a hipótese Gaia fosse devidamente substanciada, esta poderia ser formulada como uma teoria. Essa maneira de interpretar os termos ‘hipótese’ e ‘teoria’ não é compatível com o significado atribuído a estes termos na filosofia da ciência. Uma hipótese não deve ser considerada mais fraca ou mais forte do que

uma teoria. Hipóteses e teorias não se transformam umas nas outras, mas consistem em tipos diferentes de conhecimentos. Como foi discutido no início deste trabalho, o termo teoria pode ser entendido como consistindo em uma estrutura, um conjunto de elementos que estabelecem relações entre si. Os elementos que compõem uma teoria incluiriam, entre outros, princípios explicativos, leis empíricas, suposições metafísicas, hipóteses, descrições, métodos, técnicas. Uma teoria cumpriria o papel de explicar um fenômeno ou padrão observado mediante a elucidação dos mecanismos ou processos responsáveis por sua produção ou causação. Uma hipótese, por sua vez, é entendida como uma tentativa de resolver uma questão ou um problema, como uma explicação em julgamento (Campbell, 1996). Gaia, de acordo com o significado desses conceitos metateóricos, consiste em uma teoria. Ela apresenta uma estrutura que, como é discutido neste trabalho, vem sofrendo alterações desde sua proposição original por James Lovelock.

Kirchner (1993) discute a possibilidade de considerar-se Gaia uma teoria testável. Para ele, a maioria dos debates sobre qualquer teoria científica, incluindo as teorias Gaia⁸³, consiste em encontrar e ponderar as evidências contra ou a favor da mesma. No entanto, nem toda teoria pode, em sua visão, ser testada e uma teoria não-testável seria muito pior que uma meramente falsa. Uma teoria falsa, ao ser considerada como tal, ao menos ajudaria em uma esfera restrita de possibilidades, visto que nos ensinaria que a verdade estaria em outro lugar. Já testar uma teoria não-testável, por outro lado, seria uma simples perda de tempo. Ainda segundo Kirchner, uma teoria, para ser testável, deve, em primeiro lugar, ser bem definida, tendo um significado claro, sem apresentar ambigüidades. Em segundo lugar, a teoria deve ser inteligível em face de fenômenos observáveis do mundo real. Por fim, uma teoria não deve ser tautológica, ou seja, não deve ser verdadeira simplesmente por definição, cercando todas as possibilidades lógicas. Uma teoria, segundo Kirchner, deve ser logicamente consistente, mas não completamente irrefutável, tendo que apresentar um pouco de verdade empírica em algum ponto. Assim, para que uma teoria seja considerada uma teoria testável dentro dos critérios apresentados por Kirchner, ela deve apresentar uma consistência lógica, a possibilidade de ser questionada e, a depender dos resultados dos testes empíricos, refutada. Além disso, uma teoria também deve apresentar alguma

⁸³ Como foi discutido anteriormente, Kirchner não considera Gaia uma teoria única, mas uma diversidade de teorias.

novidade empírica. Estas idéias sobre testabilidade de teorias são semelhantes às apresentadas por Popper em sua teoria da ciência – o falsificacionismo. No falsificacionismo, a honestidade científica consistiria em especificar antecipadamente uma experiência tal que, caso o seu resultado contradisse a teoria, esta deveria ser abandonada. Assim, uma teoria de acordo com os falsificacionistas deveria ser, em princípio, falsificável. Um outro aspecto que influenciaria na caracterização de Gaia como uma teoria científica é o fato de esta teoria ser denominada como uma metáfora – ‘Gaia’ seria uma deusa grega. É interessante observar que a posição de Kirchner com relação à presença de metáforas na ciência se mostra, até certo ponto, parecida com a posição convencional dos cientistas que, como já foi discutido anteriormente, freqüentemente consideram que as metáforas somente são importantes em ciências imaturas ou na divulgação científica, mostrando-se irrelevantes em uma ciência desenvolvida (Van Der Weele, 1995, p.7). Segundo Kirchner “As metáforas constituem uma classe completa de teorias não testáveis” (Kirchner, 1993, p. 40).⁸⁴ As metáforas dariam espaço a ambiguidades que impossibilitariam o teste de uma hipótese – “Uma metáfora tornaria uma hipótese fraca, visto que não especificaria em que sentido a metáfora seria verdadeira” (Kirchner, 1993, p. 40).⁸⁵ Metáforas como ‘todo o mundo é um organismo global’ seriam, segundo Kirchner não testáveis. Assim, “tratar uma metáfora como uma proposição científica que é concretamente verdadeira ou falsa seria uma perda de tempo” (Kirchner, 1993, p. 40).⁸⁶ Kirchner comenta que algumas pessoas podem argumentar que ele está considerando a teoria Gaia de uma maneira muito literal, concordando que, talvez, ele esteja fazendo isso. Ele complementa seu raciocínio com o seguinte questionamento: “se Gaia é apenas uma metáfora, por que nós continuamos nos referindo à hipótese Gaia? Por que nós continuamos falando em evidências para ou provas da hipótese Gaia? Se ela é uma metáfora, por que nos referimos a ela como se esta fosse uma proposição científica, como se ela também fosse verdadeira ou falsa” (Kirchner, 1993, p.40)?⁸⁷ É interessante notar que a argumentação de Kirchner se faz com base na idéia de que o fato de Gaia ser uma

⁸⁴ “Metaphors constitute a whole class of untestable theories”.

⁸⁵ “A metaphor makes a poor hypothesis because it does not specify *in what sense* the metaphor is true”.

⁸⁶ “Treating a metaphor as a scientific proposition that is factually true or false is simply a waste of time”.

⁸⁷ “[...] if Gaia is just a metaphor, why do we keep referring to the *Gaia hypothesis*? Why do we keep talking about *evidence for or proof of* Gaia hypothesis? If it is a metaphor, why do we talk about it as if it were a scientific proposition, as if it were either true or false”?

metáfora a desmerece como uma hipótese ou teoria científica⁸⁸. É verdade que metáforas não podem ser testadas, mas este não é o papel das metáforas nas teorias científicas. Segundo Bradie, metáforas são indispensáveis na teorização científica, apresentando um conjunto de papéis na ciência (Bradie, 1999, p. 2). Elas têm um papel na produção do conhecimento científico, ao orientar questões e a integração dos dados em uma descrição completa, além de serem eficientes na comunicação entre os pesquisadores (Van der Weele, 1995, p.7; Rocha & El-Hani, 1996, p. 18). Além disso, as metáforas são elementos proeminentes e irredutíveis nas teorias científicas, guiando as questões e a integração dos dados em um quadro completo (Van der Weele, 1995, p.7). A importância das metáforas na ciência também consiste em sua capacidade de ‘criar’ ou ‘induzir’ similaridades ou analogias (Bradie, 1999, p. 2). Segundo Black (Black, 1955; 1993, citado por Bradie, 1999, p. 2) existem três visões a considerar sobre as metáforas: (1) a visão da substituição; (2) a visão da comparação e (3) a visão da interação. As duas primeiras visões consistem, respectivamente, na visão das metáforas como substitutas para uma expressão literal e na percepção de analogias ou similaridades. É possível observar que em ambas as visões, as metáforas aparecem como meros artifícios que podem ser removidos sem que haja perda de conteúdo (Rocha & El-Hani, 1996, p.18). A terceira visão – a visão interativa – também é baseada em analogias e similaridades. No entanto, em vez de mera comparação, a visão interativa ‘cria’ou ‘induz’ similaridades e analogias. A metáfora nos torna conscientes do que nós não estávamos conscientes antes de sua utilização (Black, 1955; 1993, citado por Bradie, 1999, p. 2). Observa-se, desse modo, que certas metáforas, além de serem compatíveis com o discurso científico, não podem ser dispensadas sem que haja perda de conteúdo. Assim, o argumento de Kirchner de que a utilização de metáforas na teoria Gaia poderia caracterizá-la como uma teoria não-científica se mostra infundado. É possível, no entanto, fazer uma discussão sobre a adequação da utilização da conotação metafórica Gaia para a teoria de Lovelock, que, como temos discutido ao longo deste trabalho, tem levado interpretações animistas que podem modificar o conteúdo original desta teoria.

Ainda com relação ao termo com conotação metafórica ‘Gaia’, a partir da década de 1980, este passou a ser substituído por Lovelock em alguns dos seus trabalhos por um novo

⁸⁸ Nesta discussão também é possível perceber que Kirchner, assim como Lovelock, apresenta certa confusão ao se referir aos termos metateóricos ‘hipótese’ e ‘teoria’.

termo desenvolvido por ele para referir-se à sua teoria – ‘geofisiologia’. O termo ‘geofisiologia’ funcionaria, segundo Lovelock, como uma forma alternativa de se referir à sua teoria, até então denominada ‘Gaia’. Um dos motivos que levaram Lovelock a propor o termo ‘geofisiologia’ para designar sua teoria foi a observação de que o significado de ‘Gaia’ teria estendido-se para muito além de suas intenções (Lovelock, 1990, p.102). A denominação ‘Gaia’ para o sistema de auto-regulação planetária proposto por Lovelock foi introduzida na década de 1970, tendo sido sugerida pelo amigo e, na época, vizinho de Lovelock, o escritor William Golding. Gaia é o nome que os antigos Gregos utilizavam para denominar a deusa da Terra. Esta deusa, como é comum no caso de deidades femininas de religiões antigas, era ao mesmo tempo gentil, feminina e cuidadosa, mas também implacavelmente cruel com qualquer um que falhasse em viver em harmonia com o planeta (Lovelock, [1991]2000, pp. 23-25). A denominação de Gaia ou da Terra como uma deusa, como já foi discutido anteriormente, leva à interpretação da Terra como uma entidade viva. Segundo Lovelock, a Terra poderia ser considerada viva no sentido de que ela seria um sistema auto-organizado e auto-regulador (Lovelock, [1991]2000, p.31). A utilização da metáfora ‘Gaia’, no entanto, foi um dos principais motivos que contribuiu tanto para a rejeição da teoria por muitos cientistas como para a adesão entusiasmada de grupos ambientalistas e espiritualistas (Schneider & Boston 1993, p. xiii). De acordo com a semioticista Myrdene Anderson (apud Lovelock, 1990, p. 102), o termo Gaia é um signo vazio, com uma capacidade quase infinita de significação. Lovelock concorda com ela e faz uma comparação entre o termo ‘Gaia’ e uma lata vazia abandonada numa rua que seria gradualmente enchida, principalmente com lixo. Ainda de acordo com Lovelock, este seria o destino de qualquer signo novo e não teria nada a ver com a qualidade da ciência de Gaia (Lovelock, 1990, p.102). O próprio Lovelock, no entanto, no prefácio da edição mais recente do seu primeiro livro, *Gaia a new look at life on earth*, publicado numa forma revisada e atualizada em 2000, admite que, apesar de a teoria Gaia atualmente parecer ser aceita pela maioria dos cientistas, o termo ‘Gaia’ ainda é rejeitado por esses cientistas, que utilizam preferencialmente os termos ‘geofisiologia’ e ‘ciência do sistema terrestre’ (Lovelock, [1979] 2000, p.xiii). No prefácio da edição mais recente de seu terceiro livro, *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*, Lovelock novamente afirma que a teoria Gaia vem sendo mais aceita pela comunidade científica, apesar de o nome ‘Gaia’ ser

raramente utilizado pela maioria dos cientistas, que falariam livremente em ‘ciência do sistema terrestre’ (Lovelock, [1991]2000, p. 6). A utilização do novo termo ‘geofisiologia’ parece ter enfrentado inicialmente certa resistência por parte dos cientistas, visto que em um artigo publicado em 1990 Lovelock afirma que este termo, ao ser apresentado como nome alternativo para ‘Gaia’, teve poucos adeptos (Lovelock, 1990, p. 102). No entanto, os trabalhos posteriores de Lovelock mostraram que esta resistência não teria durado muito tempo. Lovelock, no livro *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine* reapresenta o termo ‘geofisiologia’ e justifica a sua utilização por considerar Gaia como um sistema fisiológico. Para ele, assim como a fisiologia traz uma visão holística dos sistemas de ‘seres vivos simples’ tais como plantas, animais e microorganismos, a geofisiologia seria a ciência holística de ‘sistemas vivos maiores’, como a Terra. A geofisiologia seria uma ciência dura e rigorosa, que estudaria as propriedades desses sistemas amplos, tais como a regulação do clima e da temperatura (Lovelock, [1991]2000, pp.24-27).⁸⁹

Além do problema da testabilidade, Kirchner coloca em questão a utilidade de teorias como Gaia (Kirchner, 1993, pp.40-41). Para ele, algumas teorias, apesar de coerentes e talvez mesmo verdadeiras, são simplesmente inúteis no que diz respeito ao progresso científico. Teorias seriam úteis na medida em que elas diferissem de teorias relacionadas. Se uma teoria simplesmente apoiasse outras teorias testadas e verificadas, ou fosse logicamente derivada delas, não seria necessário preocupar-se em testá-la. Outro critério que poderia apontar a inutilidade de uma teoria diria respeito ao seu poder preditivo ou explanatório. As teorias seriam úteis na proporção direta dos fenômenos que elas poderiam prever ou explicar, e, talvez mais importante, na proporção inversa das suposições não-verificáveis que elas pudesssem forçar alguém a assumir. Kirchner explica este último critério a partir da lâmina de Ockham ou princípio da parcimônia: tudo o mais sendo igual, escolha a teoria que implique o menor número de suposições não-verificáveis. Se duas teorias explicam igualmente bem os mesmos dados, devemos rejeitar aquela que nos força a supor mais coisas sobre o mundo. O princípio da parcimônia não diz que todas as teorias simples são melhores. Algumas teorias muito simples podem não ser capazes de explicar tão bem os dados quanto teorias mais complexas. Nesse caso, não há qualquer

⁸⁹ “Geophysiology is a hard and rigorous science whose study is the properties of these large systems, such as their regulation of climate and atemperature”.

sentido em dar preferência à teoria mais simples. O princípio da parcimônia diz apenas que as pessoas não devem invocar suposições extraordinárias para explicar fenômenos que podem ser entendidos mais direta e simplesmente. Para Kirchner, não está claro até que ponto as teorias Gaia ‘fracas’ – Gaia influenciadora e coevolutiva – dizem algo que já não tenha sido dito por Huxley, Darwin e outros evolucionistas. Para Lovelock, no entanto, como já foi discutido anteriormente, estas teorias Gaias ‘fracas’ não seriam parte de sua teoria. A teoria Gaia, tal como ele a entende, não poderia ser classificada nem como influenciadora nem como coevolutiva, visto que ambas as classificações não dariam conta das idéias principais inerentes à teoria. A idéia de coevolução, para Lovelock, nada mais produziria do que uma amizade platônica entre biólogos e geólogos (Lovelock, 1989, p. 216).

Continuando seu argumento, Kirchner questiona: A teoria Gaia diz algo de novo? Se não, existe alguma vantagem em apoiar a reapresentação de teorias já aceitas na linguagem de Gaia? Kirchner faz a mesma crítica às versões ‘fortes’ da teoria Gaia, que procuram explicar por que o ambiente físico e a biota seriam intimamente relacionados. De acordo com Kirchner, Darwin teria dito há um longo tempo que a biota se adapta bem ao ambiente. Já a teoria Gaia teria revertido essa afirmação, ao dizer que o ambiente físico se adapta bem à biota (Kirchner, 1993, p. 41). Para Kirchner, a explicação de por que o ambiente e a biota são intimamente relacionados pode ser dada unicamente em termos da teoria da seleção natural, não sendo necessários nenhum dos ‘ornamentos’ que Gaia acrescenta a essa explicação. Por fim, Kirchner questiona: Por que invocar um sistema cibernético global para explicar a boa adaptação da biosfera ao meio ambiente, se seria possível simplesmente invocar a seleção natural, em vez disso (Kirchner, 1993, p.40-41)?

Diante das críticas de Kirchner, é necessário levar em conta o que Lovelock afirma sobre o tipo de relação que teria lugar entre a biosfera e os fatores ambientais. Esta relação, que até o final da década de 1970 aparece de uma maneira ainda não muito clara nas formulações da teoria, visto que não era bem explicitado como a biosfera e os fatores ambientais atuariam de modo a controlar as variáveis ambientais, é explicada de uma forma mais clara nos artigos publicados por Lovelock a partir da década de 1980. Neste período, Lovelock passa a apresentar uma biosfera intimamente envolvida com os fatores ambientais, que não mais determina as condições do ambiente, mas que age em conjunto

com o ambiente de modo a levar o planeta a uma homeostase. As mudanças ocorridas na estrutura da teoria Gaia a partir da década de 1980 serão discutidas mais adiante. Com relação à crítica de Kirchner, no sentido de que não seria necessário invocar um sistema cibernético global para explicar a boa adaptação da biosfera ao meio ambiente, visto que a seleção natural seria suficiente para tal explicação, Lovelock considera que Gaia é uma teoria evolutiva neodarwinista, mas acrescenta a esta teoria a idéia de que o ambiente não somente influencia a biosfera mas também sofre influências desta. Esta influência é explicada em termos de uma evolução conjunta da biosfera e do ambiente:

“[...] uma nova teoria da evolução, que não nega a grande visão de Darwin mas adiciona a ela pela observação de que as espécies de organismos não são independentes da evolução de seu ambiente material. Realmente as espécies e o ambiente são intimamente acopladas) e evoluem como um sistema único’ (Lovelock, [1988]1995, p.xviii).⁹⁰

A relação entre Gaia e a teoria evolutiva neodarwinista será discutida posteriormente nesse trabalho.

3.6) A Teoria Gaia e os Ambientalistas.

Além de explicitar um exemplo de sistema cibernético, o artigo “Air Pollution and Climatic Change” apresenta afirmações que podem ser consideradas polêmicas por ambientalistas, visto que, em determinados momentos, Lovelock parece minimizar os efeitos das ações do homem sobre o planeta, como se a biosfera sempre fosse capaz de corrigir as alterações provocadas pela liberação de CO₂ por fábricas ou pela queima de combustíveis fósseis. Argumentos polêmicos dessa natureza, que dão espaço a críticas duras e, em parte, justificadas por alguns ambientalistas, também aparecem no livro ‘*Gaia: a New Look at Life on Earth*’ (Lovelock, [1979]2000). Neste livro, Lovelock afirma, por exemplo, que a vida na Terra, da qual os seres humanos são apenas uma parte, seria bastante resistente, robusta e adaptável. E acrescenta que uma grande catástrofe, como a explosão de uma bomba nuclear, prejudicaria seriamente as plantas e os animais maiores, mas a vida unicelular, em sua maior parte, não iria sequer perceber tal evento (Lovelock,

⁹⁰ “[...] a new theory of evolution, one that does not deny Darwin’s great vision but adds to it by observing that the species of organisms is not independent of the evolution of their material environment. Indeed the species and their environment are tightly coupled and evolve as a single system”.

[1979] 2000, p.37). Assim, até mesmo uma guerra nuclear não consistiria numa devastação global e certamente Gaia não seria muito afetada por ela (Lovelock, [1979] 2000, p.38).

O conceito de poluição também é discutido por Lovelock (Lovelock, [1979] 2000) dentro do contexto da teoria Gaia. Assim como Gaia poderia sobreviver a uma catástrofe, provavelmente ela também sobreviveria a níveis de poluição proveniente de atividades industriais até mesmo maiores que os atuais. Lovelock afirma ainda que, talvez, níveis tão altos de poluição fossem desastrosos para a espécie humana, mas que isso não significaria necessariamente um desastre para Gaia. Ao voltar a sua atenção para Gaia, Lovelock assume uma visão biocêntrica e rejeita a visão antropocêntrica do planeta, questionando até que ponto certos tipos de poluição, com os quais a humanidade atualmente está preocupada, são necessariamente danosos para o planeta ou consistem apenas em danos à espécie humana. Na visão biocêntrica de Lovelock, a sobrevivência de Gaia seria preponderante perante qualquer possível prejuízo à espécie humana. Ele chega a questionar se a própria poluição não poderia ser algo tão natural para Gaia quanto a respiração para os seres vivos. Ele conclui seu raciocínio afirmando que a poluição é um conceito antropocêntrico no contexto de Gaia, visto que muitos dos poluentes conhecidos são produtos naturais do ambiente (Lovelock, [1979] 2000, p.101-103). Sob esse ponto de vista, a poluição seria o nome dado àquilo que prejudicaria à espécie humana e não necessariamente a Gaia como uma entidade.

Um outro aspecto relacionado à poluição que Lovelock procura elucidar é a idéia de que a poluição estaria ligada aos ambientes urbanos. Essa visão, apesar de compreensível, seria errônea, visto que alguns tipos de poluição, como a turbidez do ar, poderiam ser observados tanto em regiões urbanas como em regiões campestres (Lovelock, [1979] 2000, p.105). Lovelock afirma que incêndios de pastos e florestas geram pelo menos cinco milhões de toneladas de gases cloreto, como o cloreto de metila, além de dióxido de carbono. Trata-se de uma quantidade muito maior do que a liberada pelas indústrias (Lovelock, [1979] 2000, p.113). Desse modo, o cloreto de metila seria uma das substâncias produzidas em quantidades anormais, como consequência de uma agricultura primitiva. A perturbação brutal de ecossistemas naturais sempre envolveria, segundo Lovelock, o perigo de perturbar o equilíbrio normal dos gases atmosféricos. Ainda segundo ele, as nossas incertezas a respeito do futuro do planeta e das consequências da poluição nada mais seriam

que o resultado de nossa ignorância a respeito dos sistemas de controle planetários (Lovelock, [1979] 2000, p.110).

A posição apresentada por Lovelock é compreensível sob o ponto de vista de que a entidade Gaia, como um sistema de auto-regulação, conseguiria manter, de acordo com sua teoria, o planeta em um estado homeostático altamente resiliente, de modo que, mesmo frente a determinados problemas relacionados à poluição, a Terra seria capaz de reagir de modo a manter sua estabilidade. Para Lovelock, o ambientalista que acredita na vida como sendo frágil e delicada não gosta do que vê quando olha o mundo através de Gaia, visto que “a donzela desamparada que ele procurava resgatar, surge como uma mãe canibal saudável e robusta” (Lovelock, 2000, p. 89). No entanto, a atribuição de força a Gaia como um sistema não justifica a minimização da importância de sérias fontes de danos ambientais, como, por exemplo, a explosão de uma bomba nuclear ou a crescente poluição industrial. A atitude daqueles que buscaram defender indústrias poluidoras, com a desculpa de que algum conjunto coletivo de processos naturais poderia compensar amplamente qualquer dano potencial resultantes das perturbações humanas ao sistema da Terra (Schneider & Boston, 1993, p. xiii), também se mostra infundada, visto que o próprio Lovelock, que minimiza determinadas questões ambientais, acaba por afirmar que nós somos ignorantes a respeito do sistema de controle de Gaia (Lovelock, [1979] 2000, p.110). Já que é assim, como poderemos saber até que ponto é possível perturbá-lo sem que haja consequências catastróficas? Lovelock levanta esta questão e afirma que não é possível saber até que ponto esse sistema cibernetico seria capaz de atuar:

“No entanto, ninguém sabe os limites da adaptabilidade da Natureza. Pode ser que o ponto de ruptura seja alcançado como resultado de atividades perturbadoras do solo e levantadoras de poeira dos fazendeiros tentando satisfazer as demandas criadas pela explosão da população, que é inegavelmente o resultado de atividade humana” (Lovelock, 1971, pp. 410-411).⁹¹

Esse argumento faz parte do que podemos denominar idéia básica da teoria Gaia: A idéia de um planeta resistente, apresentando sistemas ciberneticos de regulação que, no entanto, podem ser levados a limites a partir do quais perderiam tal capacidade de regulação. Essa idéia aparece em praticamente todos os trabalhos sobre Gaia. A

preocupação de Lovelock com os limites dos sistemas cibernéticos de Gaia permanece na estrutura da teoria Gaia durante todo o seu desenvolvimento. Isso pode ser observado em muitos dos trabalhos publicados por Lovelock a partir da década de 1970. No livro *Gaia: a new look at life on Earth*, cuja primeira edição foi publicada em 1979, Lovelock alerta para o perigo de perturbações severas nos mecanismos de regulação de Gaia:

“Um sistema como Gaia é improvável de ser perturbado. No entanto, nós devemos pisar com cuidado para evitar os desastres cibernéticos da retroalimentação positiva fora de controle ou da oscilação continuada. Se, por exemplo, os métodos de controle do clima que postulei fossem sujeitos a uma perturbação severa, nós poderíamos sofrer uma febre planetária ou o frio de uma idade glacial, ou mesmo oscilações continuadas entre esses dois estados desconfortáveis” (Lovelock, [1979]2000, p. 123).⁹²

Em um artigo publicado em 1985, ‘Are we destabilising world climate? The lessons of geophysiology’, Lovelock enfatiza novamente o perigo de uma perturbação muito grande de um sistema de Gaia:

“Já foi dito por críticos politicamente inclinados que a hipótese Gaia é uma fabricação; um argumento desenvolvido para permitir às indústrias poluírem à vontade, visto que a mãe Gaia limpará a sujeira. É verdade que um sistema em homeostase é mais indulgente quanto a perturbações. Mas isso é apenas quando ele está saudável e bem dentro dos limites de sua capacidade de regulação. Quando tal sistema é estressado ao ponto de aproximar-se dos limites de regulação, até mesmo uma pequena perturbação pode levá-lo a pular para um novo estado estável ou mesmo a falhar completamente. Nessas circunstâncias, poluição, mudanças no uso da terra ou na ecologia das plataformas continentais poderiam ser receitas para desastres em escala global”(Lovelock, 1985, p.53).⁹³

⁹¹ “Nevertheless, no one knows the limits of Nature’s adaptability. It may be that the breaking point will be reached as a result of the soil-disturbing and dust-raising activities of the farmers trying to satisfy the demands created by the population explosion, which is undeniably the result of human activity”.

⁹² “A system as Gaia is unlikely to be disturbed. Nevertheless, we shall have to tread carefully to avoid the cybernetics disasters of runaway positive feedback or of sustained oscillation. If, for example, the methods of climate control which I have postulated were subjected to severe perturbation, we might suffer either a planetary fever or the chill of an ice age, or even experience sustained oscillation between these two uncomfortable states”.

⁹³ “It had been said by politically inclined critics that the Gaia hypothesis is a fabrication; an argument developed to allow industry to pollute at will, since mother Gaia will clean up the mess. It is true that a system in homeostasis is more forgiving about disturbances. But this is only when it is healthy and well within the bounds of its capacity to regulate. When such a system is stressed to near the limits of regulation even a small disturbance may cause it to jump to a new stable state or even fail entirely. In these circumstances pollution,

Críticas semelhantes à que se encontra no trecho acima são, segundo Lovelock, freqüentes. Tais críticas teriam como base a idéia de que “Gaia protege sempre o ambiente contra qualquer dano que o homem possa causar” (Lovelock, 2000, p.89). Essa crença levaria a afirmações mais duras, como, por exemplo, a de que “Gaia dá ensejo a um tipo de permissão oficial para poluir à vontade” (Lovelock, 2000, p. 89). Ainda de acordo com Lovelock, tais posicionamentos seriam decorrentes do uso da teoria Gaia como metáfora em argumentos sobre a condição humana. O uso de teorias científicas como metáforas seria bastante freqüente e o uso desvirtuado de Gaia seria tão inadequado quanto foi o uso da teoria de Darwin para justificar a moralidade do capitalismo liberal (*laissez-faire*) (Lovelock, 2000, p.89). Ele conclui seu raciocínio afirmando que Gaia é eticamente neutra por natureza e interpretações errôneas de seu conteúdo surgem da utilização da teoria fora de contexto:

“Gaia é uma teoria no âmbito da ciência e é, portanto eticamente neutra por natureza. Temos tentado com afinco manter a fé nas regras da ciência. Se uma teoria for utilizada fora deste contexto, deverei dizer mais uma vez que é apenas um espelho para ver as coisas de maneira diferente. Como um espelho é muito mais fácil ver seu próprio reflexo” (Lovelock, 2000, p.89).

No artigo ‘Hands up for the Gaia hypothesis’, publicado em 1990, Lovelock alerta para as possíveis surpresas que poderiam decorrer de alterações realizadas pelo homem em um sistema ativo de controle de Gaia, como, por exemplo, as que levariam ao aumento do efeito estufa. Em um sistema ativo de controle, o aquecimento esperado pelo aumento do efeito estufa poderia ser mascarado pela atuação de mecanismos envolvendo, por exemplo, a nebulosidade decorrente da liberação na atmosfera de aerossóis, tanto como resultado da combustão quanto por intermédio da biosfera, como discutido em Lovelock (1971):

“[...] Como um sistema ativo de controle, Gaia pode acelerar e intensificar tais surpresas. Uma resposta do sistema poderia mascarar, inicialmente, o aquecimento esperado pelo efeito estufa, por exemplo, por meio de uma nebulosidade ativa. Nós poderíamos, então, tornar-nos complacentes, ou argumentar que o efeito estufa foi exagerado, apenas para sermos

changes in land use or in the ecology of the continental shelves, could be the recipes for disaster global in scale”.

surpreendidos por uma mudança catastrófica no clima quando o sistema fosse superado” (Lovelock, 1990, p. 102).⁹⁴

Ainda com relação à questão do impacto da teoria Gaia entre os ambientalistas, é importante destacar que, apesar de ter sido alvo de críticas por parte de alguns ambientalistas, que, como vimos, consideram que a teoria Gaia poderia justificar ações poluidoras, muitos deles aderiram a esta teoria.

A repercussão da teoria Gaia entre os ecólogos, consistiu, segundo David Wilkinson, em um tratamento desigual dessa teoria pelos ecólogos convencionais, variando desde ser ignorada até um apoio qualificado (Wilkinson, 1999, p. 533). Alguns autores que consideram Gaia como uma teoria capaz de explicar os fenômenos através de idéias ecológicas convencionais (Wilkinson, 1999, p. 536), enfatizam a importância de incluir-se a teoria Gaia na educação ambiental (*e.g.*, Johnson, 1983, p.44). Outros autores passaram a desenvolver trabalhos onde fazem ligações entre a teoria Gaia e a ecologia de modo a afirmar a necessidade de uma mudança de posição teórica com relação, por exemplo, ao papel da vida na manutenção das florestas. Em um trabalho dessa natureza, Postel e Ryan (1991, citados por Conacher 1992, p. 180) utilizam a teoria Gaia para defender a idéia de que, em vez de tratar a diversidade biológica como um impedimento à produção de madeira, a silvicultura precisaria manter e restaurar a complexidade da vida, que leva tanto ao surgimento de florestas quanto de madeira.

Com relação ao seu posicionamento perante o movimento ambientalista que teria surgido como consequência da ameaça à camada de ozônio e suas possíveis consequências apresentadas no trabalho de Rowland e Molina, Lovelock, por um longo período, foi contra tal movimento, considerando-o muito precipitado. Para ele, era fato a existência de um perigo potencial associado à persistência dos gases CFCs, visto que esses contribuiriam para o aumento do efeito estufa provocado pelo dióxido de carbono (CO₂). Este efeito, segundo Lovelock, seria potencialmente mais sério do que uma possível destruição da camada de ozônio (Lovelock, [1988]1995, p. 160). Com relação à proibição do uso dos CFCs, Lovelock considerava que esta era uma atitude que não poderia ser justificada pelas

⁹⁴ “[...] As an active control system, Gaia can speed and intensify such surprises. A system response might at first mask the expected warming by the greenhouse, for example, by an actively cloudiness. We might then become complacent, or argue that the greenhouse has been overstated, only to be surprised by catastrophic climate change when the system is overwhelmed”.

evidências até então disponíveis. Em um trabalho em parceria com Allaby, ‘Controversy buried’, Lovelock apresenta alguns argumentos a favor de sua posição. Neste artigo, Lovelock e Allaby afirmam que não estão convencidos de que os CFCs poderiam durar indefinidamente na troposfera e que, se houvesse um escoamento de CFCs desta, haveria uma redução substancial na destruição da camada de ozônio. Eles também argumentam que não têm certeza de que um pequeno aumento da radiação ultravioleta na superfície seria maligno. Além disso, não existiriam evidências suficientes para dar suporte à idéia de que os organismos não foram capazes de colonizar a Terra primitiva até que a camada de ozônio fosse construída (Allaby & Lovelock, 1980a, p. 610). Em outro artigo, ‘Spray cans: the threat that never was’, Allaby e Lovelock novamente criticam a caracterização dada aos CFCs como os arqui-vilões do meio ambiente. Eles rerepresentam sua posição contra uma atitude mais drástica com relação aos CFCs e afirmam que não seria necessária uma ação urgente com relação ao banimento do uso dos CFCs e, ainda, que persistiam muitas incertezas com relação ao uso dos CFCs e sua ação prejudicial à camada de ozônio. Este posicionamento aparece claramente nos trechos a seguir:

“[...] a Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) anunciou uma proibição da maioria dos usos dos CFCs como propulsores de aerossóis. [...] A EPA acredita que a ameaça requer uma ação urgente e está exercendo pressão sobre os governos europeus para apoiá-la. Nós sustentamos que, se o problema requer ação de fato, esta deveria ser adiada: nenhuma crise é iminente e existem incertezas demais quanto à relação entre CFCs e ozônio para justificar uma ação imediata” (Allaby & Lovelock, 1980b, p. 212).⁹⁵

“Nós não estamos dizendo que não existe problema, ou mesmo que não seja necessário realizar alguma ação no futuro. Tudo o que nós dizemos é que a ação tomada agora, tal como a proibição dos propelentes de aerossóis a base de CFCs, é precipitada (Allaby & Lovelock, 1980b, p. 214).⁹⁶

⁹⁵ “ [...] the US Environmental Protection Agency (EPA) announced a ban on most uses of CFCs as aerosol propellants. [...] The EPA believes the threat requires urgent action and is exerting pressure on European governments to support it. We maintain that if the problem requires action at all, it should be deferred: no crisis is imminent and there are far too many uncertainties in the relationship between CFCs and ozone to warrant immediate action”.

⁹⁶ “We do not say there is no problem, or even that it may not be necessary to take some action in the future. All we say is that action taken now, such as the ban of CFC aerosols propellants, is precipitate”.

Este posicionamento de Lovelock contra a ação imediata de banir o uso dos CFCs foi, no entanto, ainda na década de 1980. Em seu segundo livro, ‘The Ages of Gaia’, ele fez uma verdadeira retratação de sua posição anterior e passou a admitir que estava errado ao opor-se àqueles que procuraram urgentemente produzir alguma legislação que interrompesse a emissão dos CFCs. Segundo Lovelock, os CFCs da atmosfera aumentaram em cerca de 600% desde sua primeira medição em 1971 e, assim, a concentração, que era inofensiva naquela época, passou a não o ser mais, visto que atualmente haveria muito mais gases halotos de carbono no ar (Lovelock, [1988]1995, p. 160). Ainda de acordo com Lovelock, a descoberta por Joe Farman e Brian Gardiner do afinamento da camada de O₃ acima da massa continental da Antártica fez com que os cientistas, incluindo ele próprio, percebessem o quanto séria é esta questão (Lovelock, 2001, p. 229).

3.7) A Segunda Versão da Teoria Gaia (a partir da década de 1980).

Segundo Lovelock (2001, p. 267), os anos entre 1979 e 1984 foram anos difíceis para a teoria Gaia, visto que não importava como ele tentasse persuadir os cientistas de que eles deveriam levar a teoria a sério, ele raramente era bem sucedido. Ao longo da década de 1980, no entanto, a teoria Gaia apresentou importantes mudanças em seu conteúdo tanto teórico quanto empírico. Lovelock, em parceria com vários colaboradores, desenvolveu uma grande quantidade de trabalhos envolvendo a apresentação de novas evidências empíricas, modelos baseados na teoria Gaia e modificações estruturais da mesma, além de apresentar uma maior preocupação em tornar mais claras as afirmações contidas na teoria. Este esforço foi recompensado por uma mudança de atitude da comunidade científica, que foi gradualmente aceitando Gaia como uma teoria científica legítima.

Uma das principais mudanças estruturais sofridas pela teoria Gaia na década de 1980 foi relacionada à idéia, presente na primeira versão da teoria, de que a biosfera controlaria a Terra. Esta idéia é considerada por Lovelock, no prefácio da segunda edição de seu primeiro livro, um erro, tendo sido substituída pela idéia de que os organismos vivos e o ambiente físico-químico da Terra formam uma entidade, Gaia, que seria responsável pelos mecanismos de regulação que antes ele atribuía somente à biosfera. Lovelock afirma que falhou

ao atribuir a função de regulação planetária unicamente à biosfera e não a um sistema maior, envolvendo a vida, o ar, os oceanos e as rochas:

“Agora, vinte e seis anos depois, eu a conheço melhor e vejo que, neste primeiro livro, eu cometi erros. Alguns foram sérios, tal como a idéia de que a Terra era mantida confortável por e para os seus habitantes, os organismos vivos. Eu falhei ao não deixar claro que não era a biosfera sozinha que fazia a regulação, mas a coisa toda, a vida, o ar, os oceanos, e as rochas. Toda a superfície da Terra, incluindo a vida, é uma entidade auto-reguladora e isso é o que eu chamo de Gaia” (Lovelock, [1979]2000, p. ix).⁹⁷

A inclusão de novos elementos, além da biosfera, na formação da entidade auto-reguladora Gaia, representa uma modificação no cinturão protetor da teoria. As proposições nucleares da teoria são mantidas. No entanto, o papel atribuído inicialmente à biosfera é modificado. A biosfera continua sendo essencial para que o processo de auto-regulação planetária aconteça. Contudo, ela deixa de ter o papel de único fator determinante de tais mudanças e passa a ser concebida como um dos fatores responsáveis pelo mecanismo de regulação. Agora, não somente a biosfera, mas um sistema global incluindo a biosfera e sistemas não-vivos como a atmosfera, as rochas, o oceano etc. é considerado como determinante da regulação do ambiente a nível planetário. A regulação passa a ser atribuída a um sistema mais amplo, do qual a biosfera é um elemento importante, mas não o único elemento envolvido na regulação planetária.

Ainda com relação a essa modificação do cinturão protetor da teoria Gaia, Lovelock afirma, em seu livro *Homenage to Gaia: the life of an independent scientist*, que errou ao considerar apenas a biosfera como responsável pela regulação do ambiente físico e químico do planeta Terra, em vez de propor que os organismos e o ambiente considerados em conjunto, ou seja, a Terra como um todo, regula a si própria. Este erro, no entanto, teria sido pequeno e posteriormente corrigido:

“[...] Eu cometi meu erro por escrever ‘a vida regula a Terra’. Eu deveria ter dito que Gaia é feita dos organismos vivos e da Terra material e que ela regula a si mesma. Este foi um erro fácil de cometer no começo, e olhando para trás, parece um erro pequeno, em comparação com o engano

⁹⁷ “Now twenty-six years on, I know her better and see that in this first book I made mistakes. Some were serious, such as the idea that the Earth was kept comfortable by and for its inhabitants, the living organisms. I failed to make clear that it was not the biosphere alone that did the regulating but the whole thing, life, the air,

enorme dos meus críticos. Eles afirmavam, com uma certeza que se aproximava do dogma, que a vida não tinha nada a ver com a aparente capacidade da Terra de regular seu clima e sua química” (Lovelock, 2001, p. 310).⁹⁸

É possível observar esta modificação na estrutura da teoria Gaia em artigos como ‘The regulation or carbon dioxide ad climate: Gaia or geochemistry’(1982), ‘Are we destabilizing world climate? The lessons of geophysiology’ (1985) e ‘Geophysiology a new look at Earth science’ (1986). Nesses artigos, Lovelock se refere claramente a Gaia como uma associação da biosfera com os fatores ambientais:

“A entropia muito baixa associada com os sistemas vivos sugere uma configuração padrão de extrema improbabilidade, em comparação com o estado constante abiológico de fundo. Se distribuições moleculares altamente improváveis se estendem para além das fronteiras das entidades vivas, de modo a incluir também o ambiente planetário, então pode-se considerar que o ambiente e a vida, tomados em conjunto, constituem uma entidade única maior. É este sistema funcional da vida e do ambiente que nós estamos chamando de ‘Gaia’” (Lovelock & Watson, 1982, p. 796).⁹⁹

“Vamos aceitar, por um momento, que a biota pode influenciar profundamente seu ambiente. O oposto também é auto-evidentemente verdadeiro; isto é, os organismos são afetados pelo ambiente. [...] Em outras palavras, a vida e seu ambiente são duas partes de um sistema intimamente acoplado, no qual esses dois componentes são dispostos em uma alça de retroalimentação. Perturbações de um afetarão o outro e isso, por sua vez, retroalimentará na mudança original” (Lovelock, 1985, p. 53; Lovelock, 1986, p.393).¹⁰⁰

the ocean, and the rocks. The entire surface of the Earth including life is a self-regulating entity and this is what I mean Gaia”.

⁹⁸ “[...] I compounded my error writing ‘life regulates the Earth’. I should have said Gaia is made of living organisms and the material Earth and she regulates herself. It was an easy mistake to make in the begining, and looking back it seems a small error compared with the giant mistake of my critics. They stated, with a certainty that was near to dogma, that life had nothing to do with the Earth’s apparent capacity to regulate its climate and chemistry”.

⁹⁹ “The very low entropy associated with living systems suggests a model configuration of extreme improbability compared with the expected and predictable steady state abiological background. If highly improbable molecular distributions extend beyond the boundaries of living entities so as to include also their planetary environment then the environment and life taken toghester can be considered to constitute a single larger entity. It is this operating system of life and environment which we are calling Gaia”.

¹⁰⁰ “Let us accept for the moment that the biota can profoundly influence its environment. The converse is also self-evidently true; that is, organisms are affected by the environment. [...] In other words life and its environment are two parts of a close coupled system where these two components are arranged in a feedback loop. Perturbations of one will affect the other and this in turn feed back on the original change”.

Uma outra falha grave que Lovelock afirma ter cometido na primeira edição de seu primeiro livro sobre a teoria Gaia consiste na sugestão que ele apresenta de que nós poderíamos aquecer a terra no evento de uma iminente era do gelo pela deliberada liberação de clorofluorcarbonos no ar, explorando seu efeito estufa para mantermo-nos aquecidos (Lovelock, [1979]2000, p. ix). Este tipo de explicação coloca o homem na posição de administrador planetário, o que o próprio Lovelock critica arduamente em seu terceiro livro, *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*. Lovelock questiona como o homem poderia administrar a Terra se ele nem mesmo sabe o que ela é (Lovelock, [1991]2000, p. 174). Segundo ele, o homem ainda está em um estágio de profunda ignorância a respeito da Terra e a ciência que é feita neste sentido ainda é dificilmente aplicável para a solução de nossos problemas ambientais (Lovelock, [1991]2000. p. 173). Ele enfatiza os perigos de tentar-se controlar de fora sistemas vivos auto-reguladores como Gaia ou um ser humano, visto que uma ação desse tipo, aumentando ou diminuindo uma única alça de retroalimentação (*feedback*) planetária em sistemas que apresentam múltiplas alças de retroalimentação, raramente é bem sucedida e traz consigo riscos de uma perigosa e imprevisível instabilidade:

“[...] A tentativa de controlar de fora, pelo aumento ou diminuição de uma única alça de retroalimentação nesses sistemas múltiplos de retroalimentação raramente é bem sucedida e traz consigo o risco de uma instabilidade perigosa e imprevisível” (Lovelock, [1991]2000, p. 177).¹⁰¹

Essas importantes constatações, bem como as modificações estruturais da teoria Gaia levadas a cabo, que começam a ser vistas nos trabalhos publicados por Lovelock a partir da década de 1980, possibilitaram a construção de uma argumentação acerca dos alicerces teóricos e práticos de Gaia mais forte e coerente com o discurso científico. Assim, a partir da década de 1980, novos argumentos teóricos e novas evidências empíricas de Gaia surgiram a partir dos trabalhos desenvolvidos tanto por Lovelock quanto por outros cientistas engajados no programa de pesquisa de Gaia. Lovelock continuou a desenvolver a estrutura da teoria Gaia e também continuou a realizar trabalhos empíricos envolvendo a

¹⁰¹ “To attempt control from outside by increasing or decreasing one feedback loop only in these multiple feedback systems is rarely successful, and carries with it the risk of dangerous and unpredictable instability”.

dinâmica dos gases atmosféricos. Seu principal objetivo, ao realizar tais trabalhos, era encontrar evidências da existência da entidade Gaia:

“Eu ainda viajo com instrumentos que incorporam detectores de captura de elétrons, mas agora em uma tentativa de descobrir se a Terra e a biosfera formam um sistema único, Gaia, com a poderosa capacidade de determinar ativamente o seu e o nosso ambiente” (Lovelock, 1981, p. 537).¹⁰²

Neste trecho, Gaia aparece como um sistema formado pela Terra e pela biosfera, diferindo das versões em que Lovelock a apresenta como sinônimo da Terra ou da biosfera. Esta visão da entidade Gaia parece estar ligada ao novo papel atribuído a biosfera, agora considerada um fator que, em conjunto com os fatores físicos e químicos, formam um sistema cibernetico de controle que determina ativamente o ambiente.

No segundo livro escrito por Lovelock, editado pela primeira vez no ano de 1988, *The Ages of Gaia: A Biography of our Living Earth*, várias modificações da teoria Gaia são apresentadas e discutidas. Neste livro, Lovelock passa a direcionar sua argumentação para a comunidade científica e apresenta Gaia como uma teoria. Observa-se, assim, uma mudança de atitude de Lovelock em relação ao estatuto epistemológico de Gaia. Na década de 1970, ele se referia a Gaia como uma ‘hipótese’. Na década de 1980, ele passa a referir-se a Gaia como uma ‘teoria’. Esse aspecto está relacionado à interpretação equivocada dada por Lovelock aos termos metateóricos ‘hipótese’ e ‘teoria’. A ‘hipótese’ Gaia da década de 1970, apoiada em evidências ainda insuficientes, teria sido, nos termos de Lovelock, ‘substanciada’ a partir da década de 1980, na medida em que passou a apresentar evidências suficientes a seu favor. Entretanto, como foi comentado acima, hipóteses e teorias são formas distintas de conhecimento e não se transformam uma na outra, em particular, hipóteses não evoluem para teorias.

Com relação à aceitação das idéias iniciais sobre Gaia, apresentadas durante a década de 1970, Lovelock comenta que a comunidade científica ignorava de maneira tão completa a teoria que as idéias associadas a ela não eram sequer consideradas dignas de crítica (Lovelock, [1988]1995, p. 31). Lovelock apresenta algumas das principais críticas feitas à sua teoria, como, por exemplo, a de W. Ford Doolittle (Doolittle, 1979, citado por

Lovelock, [1988]1995, p. 31), que não considerava que a seleção natural poderia levar a um altruísmo global, como previsto na teoria Gaia, atribuindo um caráter teleológico a esta teoria, e Richard Dawkins (Dawkins, 1982, citado por Lovelock, [1988]1995, p. 31) que afirmava que Gaia não poderia existir, visto que a Terra não poderia reproduzir-se e não seria possível sua evolução por algum tipo de seleção natural envolvendo planetas¹⁰³ (Lovelock, [1988]1995, p. 31. ver tb. Lovelock, [1991]2000, p. 63; Lovelock, 2001, pp. 264-266). Outra crítica à teoria Gaia foi feita pelo climatologista Stephen Schneider e pelo geoquímico H. D. Holland, que, como a maioria de seus pares, preferiam explicar a evolução das rochas, dos oceanos, do ar e do clima unicamente por forças físicas e químicas (Lovelock, [1988]1995, pp. 31-32). Apesar de apresentar críticas à teoria Gaia, afirmando, por exemplo, que a homeostase não poderia, como argumentado nos artigos iniciais de Lovelock, ser o único meio de regulação do clima, Schneider considerava essa teoria apropriada para uma discussão no âmbito científico e, em Março de 1988, organizou um congresso da União americana de Geofísica dedicado à discussão sobre Gaia (os trabalhos apresentados nesse congresso foram reunidos em Schneider & Boston 1993).

Em 1988, Stephen Schneider e Penélope Boston organizaram um congresso sobre a teoria Gaia para a União americana de Geofísica. Eles tiveram a coragem de ir de encontro a uma considerável oposição dos geofísicos convencionais, que consideravam que a realização de tal encontro poderia trazer má reputação para a sociedade. Lovelock aceitou o convite para participar da conferência, por considerá-la uma ótima oportunidade para estabelecer a respeitabilidade científica de Gaia. Suas expectativas, no entanto, foram frustradas, visto que a reação dos cientistas presentes em tal reunião foi muito diferente da que ele esperava. Para este congresso, Lovelock preparou o artigo ‘Geophysiology: the Science of Gaia’, que foi apresentado na abertura da reunião. A reação da platéia se limitou a simplesmente ouvi-lo, sem praticamente comentar o trabalho. A situação ficou ainda pior quando o físico James Kirchner apresentou seu artigo ‘The Gaia hypotheses: are they

¹⁰² “I still travel with instruments that incorporate electron capture detectors, but now in a quest to discover if the earth and the biosphere form a single system, Gaia, with the powerful capacity to actively determine its and our environment”.

¹⁰³ O ponto discutido por Dawkins, sobre a impossibilidade de a Terra ser viva, visto que ela não poderia reproduzir-se e não seria possível sua evolução por algum tipo de seleção natural, também foi apontado em meu trabalho de monografia (Lima-Tavares, 2000) e nos artigos ‘A Terra é viva? Hipótese Gaia e Definições de vida’ (El-Hani & Lima-Tavares, 2001) e ‘Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da teoria Gaia’ (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

testable are they useful?'', que, na visão de Lovelock (Lovelock, 2001, p. 271), tinha como objetivo ridicularizar e diminuir a teoria Gaia. Kirchner teria ignorado o artigo que Lovelock apresentou no congresso e criticado trechos selecionados dos seus artigos iniciais e do seu primeiro livro (Lovelock, 2001, p. 271). A apresentação de Kirchner teria influenciado tanto a reunião que, a partir daquele momento, poucos levaram Gaia a sério (Lovelock, 2001, pp. 270-272). Referindo-se à apresentação de Kirchner, Lovelock (1990, p. 101) escreve: “Como alguma figura da Inquisição, ele queimou publicamente várias Gaias imaginárias e sua demolição pirotécnica da Gaia forte roubou o *show*. Mas quando as centelhas desapareceram, o real sistema de Gaia ainda estava lá, apenas oculto pela fumaça”. Lovelock (1990, p. 101) acrescenta, em uma afirmação no mínimo contraditória, que esta reunião teria marcado o fim da falsa acusação de teleologia à teoria Gaia, que segundo ele, algumas pessoas teriam “ilógicamente chamado de hipótese Gaia forte”.

A partir da década de 1980, as principais críticas dirigidas à teoria Gaia se referem ao seu possível caráter teleológico, à idéia de que a Terra pode ser considerada um ser vivo, à compatibilidade entre a teoria Gaia e o neodarwinismo, além de críticas que atingem diretamente a atribuição de científicidade à teoria Gaia, considerando-a anticientífica.

Quanto à atribuição de um caráter teleológico a sua teoria, Lovelock não considera pertinente o argumento de que ela envolve explicações teleológicas, requerendo previsão e planejamento pela biota. Note-se, portanto, que Lovelock tem uma visão inadequada sobre a natureza das explicações teleológicas, considerando que elas necessariamente envolvem previsão, planejamento, e, portanto, alguma forma de ação consciente, sem levar em conta a reinterpretação do estatuto das explicações teleológicas levada a cabo por autores como Mayr (1982, 1988) e Taylor (1964), entre outros. Lovelock (1990, 1991b) entende a autoregulação do clima e da composição química da atmosfera como propriedades emergentes, concebendo que, por este motivo, não se poderia dizer, então, que ela envolve qualquer teleologia. Não é clara, no entanto, a conexão entre os conceitos de ‘teleologia’ e ‘emergência’ na argumentação de Lovelock, e, em particular, em que sentido o uso do conceito de emergência poria de lado a possibilidade de falar-se em teleologia.

Para Lovelock, ao não conseguirem enxergar os mecanismos que levariam a um controle planetário, muitos cientistas passaram a negar a existência destes e a estigmatizar a

teoria Gaia como sendo teleológica (Lovelock [1988]1995, p.32). Ainda de acordo com Lovelock, “esta é a condenação final” (Lovelock [1988]1995, p.32)¹⁰⁴ de Gaia, visto que “explicações teleológicas, na academia, são um pecado contra o sagrado espírito da racionalidade científica; elas negam a objetividade da natureza” (Lovelock [1988]1995, p.32).¹⁰⁵

A questão sobre o caráter teleológico, assim como o caráter homeostático e otimizador da teoria Gaia, associados por Kirchner às versões fortes desta teoria, é, no entanto, bastante polêmica. Ela é discutida por Kirchner (1993), que afirma que a idéia de que há um propósito na manutenção da constância climática e da instabilidade atmosférica pela biosfera *não* é testável, a menos que o propósito de Gaia ou o significado de um ambiente físico-químico biologicamente ótimo seja precisamente definido. Trata-se de uma acusação séria, implicando, em termos popperianos, que a teoria Gaia não pode ser considerada, em suas versões mais fortes, científica, a não ser que se proponha uma interpretação teleológica adequada para ela. A situação se torna ainda mais complexa, quando se leva em conta que o próprio Lovelock não está disposto a admitir uma interpretação dessa natureza (ver Lovelock 1990, p. 100, 1991a, p. 30, 1991b, p. 11). Seria o caso, então, de optar-se por uma interpretação mais fraca, rejeitando-se as noções de teleologia e otimização. No entanto, as versões mais fracas da teoria Gaia não possuem, para Kirchner, qualquer conteúdo novo. Na visão deste autor, a teoria Gaia, onde parece ser nova, não é científica, e onde parece ser cientificamente aceitável, nada diz de novo. A perspectiva de uma aceitação da teoria de Lovelock e Margulis pela comunidade científica não é, nesses termos, muito promissora. No entanto, esta teoria parece possuir conteúdo empírico, e poder explanatório, preditivo e heurístico, orientando o trabalho de investigação de um número crescente de pesquisadores. Considerando-se, então, que as versões mais fortes da teoria Gaia se mostram mais interessantes, é importante para o desenvolvimento do programa de pesquisa iniciado por Lovelock a formulação de uma explicação teleológica cientificamente válida desta teoria, apesar da cautela de seus proponentes a este respeito (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

¹⁰⁴ “This was a final condemnation”.

¹⁰⁵ “Teleological explanations, in academy, are a sin against the holy spirit of scientific rationality; they deny the objectivity of Nature”.

Ainda com relação à atribuição de teleologia à teoria Gaia, em muitos dos trabalhos de Lovelock, esta idéia aparece de forma clara. No entanto, como pode ser visto, por exemplo, nos livros *The Ages of Gaia: A Biography of our Living Earth* e *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*, Lovelock freqüentemente nega que sua teoria tenha um caráter teleológico. Ele afirma que, em nenhum lugar dos seus escritos, ele e Margulis teriam expressado a idéia de que a autoregulação planetária é proposital ou envolve previsões ou planejamento pela biota. Tal idéia, no entanto pode ser facilmente detectada em trechos de artigos de Lovelock e Margulis, como atesta o seguinte exemplo:

“A atmosfera terrestre é mais que meramente anômala; ela parece ser um dispositivo especificamente construído para uma série de propósitos”(Lovelock & Margulis, 1974a, p. 3).¹⁰⁶

Muitos outros exemplos de trechos de trabalhos de Lovelock em que as idéias de teleologia e otimização aparecem claramente foram analisados anteriormente nesta dissertação.

Para Lovelock, as primeiras formulações da teoria Gaia podem ter sido imprecisas e abertas a interpretações errôneas, mas não justificariam a crítica persistente e quase dogmática de que Gaia seria teleológica (Lovelock, 1990, p.100). No entanto, como mais uma evidência da confusão que envolve a questão da natureza teleológica da teoria Gaia, Lovelock, no artigo ‘Making Waves’, publicado em 1991, ao tentar defender a idéia de que Gaia não apresenta um caráter teleológico, admite que, nas primeiras versões da teoria Gaia, atribuiu, juntamente com Margulis, o mecanismo de controle cibernetico a alguma propriedade especial dos organismos ou da biosfera. Segundo Lovelock, essa propriedade especial teria sido corretamente questionada pelos críticos e ele teria desenvolvido, então, uma nova estrutura da teoria Gaia, não envolvendo qualquer idéia de propósito:

“Quando nós propusemos a hipótese Gaia, nós erroneamente atribuímos o mecanismo a alguma propriedade especial dos organismos ou da biosfera como um todo. Por esta idéia, nós fomos corretamente criticados. Eu apresentei, então, modelos que, sem invocar previsão, planejamento ou propósito, mostraram como o sistema inteiro, organismos mais ambiente,

¹⁰⁶ “The Earth’s atmosphere is more than merely anomalous; it appears to be a contrivance specifically constituted for a set of purposes”.

poderiam conservar a homeostase. Nossos oponentes continuam a acusar-nos de teleologia, da propagação de um mito, e não de ciência” (Lovelock, 1991c, p.5).¹⁰⁷

O fato de que muitos cientistas não aceitam as explicações teleológicas pode ser decorrente da má utilização da mesma por alguns autores ou de uma interpretação equivocada do significado do termo ‘propósito’. O próprio Lovelock parece concordar com a posição destes cientistas no momento em que nega enfaticamente o caráter teleológico de sua teoria. A presença de explicações teleológicas na formulação da teoria Gaia é, no entanto, inegável, como atestam vários trechos discutidos acima. As noções de homeostase, teleologia e otimização, inclusive, aparecem em todas as apresentações da teoria Gaia examinadas até agora, tendo sido interpretadas, em nossa análise, como elementos do núcleo duro desta teoria. Isso mostra como essas noções são importantes no desenvolvimento da teoria Gaia, como um programa de pesquisa.¹⁰⁸

Uma outra novidade que surge na formulação da teoria Gaia a partir da década de 1980 é a idéia de uma evolução conjunta da biosfera e da atmosfera. Em artigos publicados por Lovelock na década de 1970, a idéia de que a teoria da evolução e a teoria Gaia não são incompatíveis já era encontrada. No entanto, foi na década de 1980 que Lovelock passou a preocupar-se em responder a questão de como tal evolução ocorreria, desenvolvendo, inclusive, modelos que buscam exemplificar o funcionamento dos mecanismos evolutivos. Assim, Lovelock passou a explicitar sua compreensão do processo evolutivo de Gaia e a sua compatibilidade ou não com os mecanismos evolutivos neodarwinistas, atualmente em mudança mas ainda vigente na comunidade científica. A passagem abaixo ilustra a tentativa de Lovelock de mostrar que a teoria Gaia é compatível com o mecanismo da seleção natural:

¹⁰⁷ “When we proposed the Gaia hypothesis, we wrongly attributed the mechanism to some special property of organisms or the whole biosphere. For that idea we were rightly criticized. I then presented models that, without invoking foresight, planning or purpose, showed how the entire system, organisms plus environment, could sustain homeostasis. Our opponents continue to accuse us of teleology, of propagating a myth rather than science”.

¹⁰⁸ O trabalho de iniciação científica de um dos membros do Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Nei Freitas de Nunes Neto, bolsista PIBIC-CNPQ/UFBA e estudante de graduação do Instituto de biologia da UFBA, trata das relações entre a teoria Gaia, explicações teleológicas e a noção de emergência de propriedades. Este estudo consistirá em mais um trabalho desenvolvido na linha de pesquisa envolvendo a teoria Gaia, na qual esta dissertação de mestrado foi realizada. Para uma melhor compreensão das várias interpretações possíveis do termo ‘teleologia’, ver Mayr (1982, 1988).

“Alguns viram em Gaia uma renovação da teoria da evolução de Lamarck. A teoria que postulava a transmissão para a prole de características adquiridas durante o tempo de vida dos pais. Uma teoria que enfatizava a influência do ambiente na evolução, em contraste com o darwinismo, que enfatizava a seleção natural de indivíduos adaptados ao ambiente. De modo algum, a teoria Gaia é lamarckiana, ela é completamente Darwinista. Ela difere da doutrina dominante (*received doctrine*) por observar que um organismo, capaz de mudar o ambiente material de algum modo, passa adiante esta característica para a sua progênie. Então, à medida que o organismo cresce em número, o mesmo acontece com a extensão da mudança ambiental. Se a mudança aumenta os números da progênie, então tanto a mudança quanto a população aumentarão. E, inversamente, os organismos que mudam o ambiente adversamente tendem a tornar-se extintos. Em outras palavras, os organismos que, por acaso, mudam as regras do jogo em seu favor freqüentemente ganham, enquanto aqueles que mudam as regras contra si próprios perdem. É o forte acoplamento entre o crescimento e suas consequências ambientais que dá origem à auto-regulação”(Lovelock, [1988]1995, p. 213).¹⁰⁹

Em um outro trabalho, o artigo ‘An expedition to the days when it began’, publicado em 1984, Lovelock critica a posição que os geólogos tradicionais sustentam com relação à evolução das espécies e do ambiente. Ele faz um comentário irônico com relação à resistência desses cientistas ao processo de evolução proposto pela teoria Gaia, visto que, para ele, a idéia de uma evolução concomitante das espécies e do ambiente é muito clara:

“Foi um grande passo para tantos geólogos tradicionais (*mainstream*) mudarem e tornarem-se biogeólogos e aceitarem que as rochas foram massivamente alteradas pela vida. Não seria razoável esperar, neste estágio, que eles se movessem para mais além e admitissem a possibilidade de que a evolução das espécies e a evolução do ambiente não são separadas, mas um processo único fortemente acoplado; ou que a Terra é adequada para a vida não por

¹⁰⁹ “Some saw in Gaia a renewal of Lamarck’s theory of evolution. The theory that saw the transmission to offspring of characteristics acquired during the parents’ lifetime. A theory which emphasized the influence of the environment on evolution in contrast to Darwinism which emphasized the natural selection of individuals adapted to the environment. In no way is Gaia theory Lamarckian, it is wholly Darwinist. It differs from the received doctrine by observing that an organism, able to change the material environment in any way, passes on this characteristic to its progeny. Then, as the organism grow in numbers so does the extent of the environmental change. If the changes increase the numbers of the progeny than both change and population will increase. The converse also; organisms that change the environment adversely tend to become extint. In other words, organisms who by chance change the rules of the game in their favor, often win and those that change the rules against themselves, lose. It is the tight coupling between growth and its environmental consequences that gives birth to self-regulation”.

acaso, mas porque o ambiente físico e químico é uma parte da vida” (Lovelock, 1984, pp. 37-38).¹¹⁰

É interessante perceber que a idéia de evolução apresentada por Lovelock é uma explicação, em última instância, do que ele denomina ‘a evolução do maior organismo vivo – Gaia’(Lovelock, [1988]1995, p. xviii). Este tipo de evolução, segundo ele, consistiria em uma nova teoria da evolução, que não negaria a visão de Darwin, mas acrescentaria a ela a idéia de que as espécies de organismos não são independentes da evolução do seu ambiente. As espécies e o seu ambiente estariam fortemente acopladas e evoluiriam como um sistema único (Lovelock, [1988]1995, p. xviii). Assim, podem ser observadas duas mudanças muito importantes no cinturão protetor da teoria Gaia. Uma, que já foi explicitada anteriormente, se refere ao papel da biosfera. A biosfera deixa de ser entendida como a única responsável pelo controle cibernetico do ambiente físico e químico, sendo esta idéia substituída pela noção de um forte acoplamento entre a biosfera e fatores ambientais. Uma segunda proposição, que já fazia parte do conjunto de hipóteses auxiliares que constitui o cinturão protetor da teoria Gaia, é complementada por meio de uma defesa da compatibilidade de Gaia com teoria neodarwinista da evolução. A relação entre a teoria neodarwinista da evolução e a teoria Gaia merece ser mais explorada. Tendo em vista os objetivos desta dissertação, contudo, não temos o espaço aqui para explorar mais este ponto.

Uma outra idéia que passa a fazer parte do cinturão protetor da teoria Gaia é a de que a evolução de Gaia ocorre aos saltos, numa evolução pontuada. De acordo com a teoria Gaia, haveria longos períodos de homeostase com pequenas mudanças ambientais e uma taxa reduzida de especiação, interrompidos por aumentos abruptos na magnitude de ambos os processos. Essas pontuações poderiam ser dirigidas internamente, como resultado da evolução de algumas espécies poderosas, como a humana, cuja presença alteraria o ambiente, ou como resultado de mudanças externas, tais como aquelas provindas de impactos de planetesimais. Assim, a teoria Gaia implicaria uma mudança na visão

¹¹⁰ “It was a great step for so many mainstream Earth scientists to change and become biogeologists and to accept that the rocks were massively altered by life. It would be unreasonable at this stage to expect them to have moved further and taken aboard the possibility that the evolution of the species and the evolution of the environment are not separate but a single tightly coupled process; or that the Earth is fit for life not by chance but because the physical and chemical environment are a part of life”.

darwinista convencional de que as mudanças evolutivas são constantes e graduais (Lovelock, [1988]1995, p. 54).

Apesar de considerar absurdas algumas das críticas feitas à teoria Gaia, como a atribuição de um caráter teleológico a ela, e de, a todo o momento, criticar as posições de cientistas mais tradicionais, Lovelock valorizou tais críticas, na medida em que, a partir delas, pôde perceber que ainda estava pensando muito intuitivamente em Gaia, sendo necessário assumir um pensamento mais racional sobre esta teoria. A partir da década de 1980, ele esteve fortemente envolvido, assim, na tentativa de oferecer uma explicação mais apropriada de sua teoria. Lovelock buscou tal explicação, que deveria ser capaz de responder aos questionamentos feitos à teoria Gaia, através do que ele denomina ‘modelos geofisiológicos’. É interessante notar que ao concentrar os seus esforços no desenvolvimento de modelos que pudessem reforçar as idéias propostas em sua teoria, Lovelock fez o que Lakatos considera essencial no desenvolvimento de um programa de pesquisa; o desenvolvimento de modelos cada vez mais complicados de simulação da realidade, sem que haja uma concentração nos exemplos contrários que possam aparecer neste processo (Lakatos, [1978]1995, p. 49).

O primeiro desses modelos, apresentado em Watson & Lovelock (1983), foi o modelo do mundo das margaridas (*Daisyworld*).

Trata-se de um modelo matemático da regulação da temperatura planetária. A primeira vez que Lovelock apresentou o modelo do mundo das margaridas para a comunidade científica foi no ano de 1982, em uma conferência sobre biomíneralização em Amsterdan (Lovelock, [1988]1995, p. 34). Lovelock, no entanto, tinha consciência de que, para ser realmente considerado pela comunidade científica, o modelo do mundo das margaridas deveria ser apresentado na forma de artigo em alguma revista especializada. Para que isso fosse possível, no entanto, Lovelock sabia que era necessário apresentar o seu modelo em uma linguagem matemática compatível com esse tipo de publicação. Com o objetivo de dar esta nova roupagem ao modelo do mundo das margaridas, Lovelock convidou o físico Andrew Watson para trabalhar como co-autor na elaboração do artigo ‘Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld’(Watson & Lovelock 1983. Ver Lovelock, [2000]2001, p. 265). Este artigo foi inicialmente rejeitado pela revista *Nature*, sendo publicado em 1983 pela revista *Tellus*. Watson e Lovelock

(1983) apresentam as dificuldades encontradas ao tentarem explorar as propriedades do acoplamento entre a biosfera e o ambiente. Segundo eles, devido ao sistema de acoplamento entre a biota e o ambiente da Terra ser altamente complexo e muito pouco conhecido, torna-se difícil o desenvolvimento de modelos. Assim, eles optaram por desenvolver o modelo de um mundo artificial simples, o mundo das margaridas, construído de modo a representar o acoplamento da biota com o ambiente e investigar as propriedades que este tipo de acoplamento poderia conferir a um sistema em escala planetária:

“Por esta razão, nós escolhemos estudar um mundo artificial, apresentando uma biota muito simples, a qual é especificamente projetada para exibir a característica na qual estamos interessados – a saber, o acoplamento íntimo da biota e do ambiente global. Por meio de uma enorme simplificação da nossa biosfera, nós podemos descrevê-la em termos de poucas equações emprestadas diretamente da teoria da ecologia de populações” (Watson & Lovelock, 1983, p.284).¹¹¹

Para Lovelock, o modelo do mundo das margaridas é uma sinopse da teoria Gaia, visto que representa um exemplo de como os organismos podem evoluir fazendo parte de um sistema auto-regulador:

“O mundo das margaridas é uma sinopse da teoria Gaia. Ele mostra como os organismos evoluindo sob as regras da seleção natural são parte de um sistema que é auto-regulador. O mundo das margaridas mantém sua temperatura próxima ao ótimo para o crescimento das margaridas” (Lovelock, 2001, p. 265).¹¹²

O mundo das margaridas é um mundo fictício que consiste em um planeta com aproximadamente o mesmo tamanho da Terra (Lovelock, 2001, p 264). Este planeta, ao contrário da Terra, apresentaria mais continentes do que oceanos (Lovelock, [1988]1995, p. 34). O mundo das margaridas seria bem irrigado e teria um clima simples, sem a presença de nuvens ou gases estufa. Ele estaria orbitando ao redor de uma estrela que, de modo semelhante ao sol, estaria aumentando o seu fluxo de calor com a passagem do tempo

¹¹¹ “ For this reason we have chosen to study na artificial world, having a very simple biota which is specifically designed to display the characteristic in which we are interested – namely, close-coupling of biota and the global environment. By simplifying our biosphere enormously we can describe it in terms of a few equations borrowed directly from population ecology theory”.

¹¹² “Daisyworld is a synopsis of Gaia theory. It shows how organisms evolving under the rules of natural selection are part of a system that is self-regulating. Daisywolrd keeps its temperature close to the optimum for daisy grow”.

(Lovelock, 2001, p 264). No mundo das margaridas, o ambiente é reduzido a uma única variável, a temperatura, e a biota, a margaridas pretas e brancas. Em períodos muito frios, com a temperatura abaixo de 5°C, as margaridas não são capazes de crescer. Caso a temperatura ultrapasse os 40°C, ela se torna muito quente para as margaridas, que, então, murcham e morrem (Lovelock, [1988]1995, p. 35). A temperatura adequada para o crescimento ótimo das margaridas é de 22,5°C (Watson & Lovelock, 1983, p. 285). A temperatura média do planeta consiste no balanço entre o calor recebido da estrela e o calor perdido para o espaço na forma de ondas de radiação infravermelha. Como o mundo das margaridas não apresenta nuvens ou gases estufa, o único fator que interfere na determinação da temperatura do planeta é o albedo planetário (Lovelock, [1988]1995, p. 35). 'Albedo' é o termo astronômico para a profundidade de cor de um planeta, referindo-se à predominância de uma tonalidade mais escura ou mais clara e, logo, à reflexividade do planeta. O albedo pode variar de 0,0 a 1,0. Um planeta preto não refletiria luz e teria albedo 0,0, um planeta cinza teria um albedo de 0,5 e um planeta branco refletiria toda a luz incidente e teria albedo 1,0. Assim, um planeta com predominância de áreas claras tenderia a apresentar um albedo alto, com uma taxa de reflexão da luminosidade solar para o espaço de cerca de 70 a 80%, enquanto que um planeta com predomínio de áreas escuras teria albedo mais baixo e tenderia a absorver o calor emitido pelo sol (Lovelock, [1991]2000, p 147). No mundo das margaridas, o solo descoberto tem um albedo de 0,4, as margaridas pretas, de 0,2, e as brancas, de 0,7. Para entender como funciona o controle da temperatura no mundo das margaridas, é necessário imaginar, inicialmente, este planeta fictício em um período em que a estrela que o aquece era ainda pouco luminosa e a temperatura média planetária era de 5°C. Nestas condições planetárias, seriam plantadas sementes de margaridas pretas e brancas. Primeiro, observar-se-ia que as margaridas pretas teriam uma vantagem no seu desenvolvimento com relação às margaridas brancas, visto que as primeiras teriam uma maior capacidade de absorver a luminosidade do sol. Devido a essa capacidade de absorção da luminosidade solar, as margaridas pretas levariam a um aquecimento das regiões do planeta em que estivessem localizadas, que apresentariam, então, uma temperatura superior à temperatura mínima para o seu desenvolvimento. Já com as margaridas brancas, aconteceria um processo oposto, visto que, como elas têm pouca capacidade de absorver a luminosidade solar e uma grande capacidade de refleti-la,

tenderiam a retornar a luminosidade recebida. Com isso, as margaridas brancas diminuiriam a temperatura das regiões em que fossem encontradas para uma temperatura menor que 5°C, o mínimo necessário para o seu desenvolvimento. Com o passar do tempo, observar-se-ia uma abundância cada vez maior das margaridas pretas, que passariam a espalhar-se pelo solo do planeta, aquecendo a temperatura dos solos e do ar, local e, depois, regionalmente. As condições do planeta, neste período, levariam a uma retroalimentação positiva, estimulando a colonização da maior parte do planeta por margaridas pretas. No entanto, em determinado momento, a expansão das margaridas pretas seria limitada pela temperatura planetária, que estaria acima do nível ótimo para o seu crescimento. Já para as margaridas brancas, a situação de aumento da temperatura planetária passaria a ser favorável, visto que elas, devido à sua capacidade de refletir a luminosidade solar, seriam capazes de diminuir a temperatura nas regiões em que fossem encontradas. Elas passariam, então, a ser mais bem favorecidas que as margaridas pretas e se espalhariam pelo solo do mundo das margaridas. A temperatura planetária seria regulada, neste modelo, com o planeta mantendo seu clima constante na presença de vida, apesar do aumento contínuo da produção de calor e luminosidade pelo Sol. A regulação do mundo das margaridas funcionaria até o momento em que o fluxo de calor do planeta se tornasse tão alto que nem mesmo a mais branca das safras de margaridas fosse capaz de manter o planeta em uma temperatura mais baixa que a temperatura limite para o crescimento das margaridas (40°C) (Lovelock, [1988]1995, pp. 36-37).

Após o desenvolvimento do modelo básico do mundo das margaridas, Lovelock passou a desenvolver outros modelos geofisiológicos, uma parte dos quais eram modificações do seu primeiro modelo. Foram feitos modelos com um maior número de espécies de margaridas, com a introdução de novas perturbações no sistema, como a ocorrência de catástrofes, com a inserção de consumidores primários e até mesmo consumidores secundários, como coelhos e raposas etc.

Em um desses trabalhos, Lovelock e Stephen Harding fizeram um estudo ecológico no qual investigaram os efeitos da coexistência mediada por exploração e da seleção dependente de freqüência sobre um modelo climático que inclui retroalimentação entre a biota e a temperatura da superfície (Harding & Lovelock, 1996, pp. 109-110). O modelo consistia em um planeta semelhante ao mundo das margaridas, submetido às mesmas

condições climáticas apresentadas anteriormente e com as margaridas apresentando as mesmas temperaturas mínimas, máximas e médias de crescimento (respectivamente, 5°C, 40°C e 22,5°C). Cada tipo de margarida teria um albedo único, variando entre zero e um. As modificações que Harding e Lovelock fizeram no modelo original consistiram na inserção de 23 espécies de margaridas, em vez apenas duas, cada uma delas apresentando albedo entre zero (pretas) e um (brancas) e na inserção de herbívoros. O objetivo da elaboração deste modelo foi estudar o estresse decorrente da luminosidade solar constante e desconfortável e as perturbações causadas pela introdução dos herbívoros (Harding & Lovelock, 1996, p. 110). Foi verificado que as perturbações moderadas dos herbívoros estimularam o aumento da diversidade das margaridas, visto que, ao predarem as margaridas, os herbívoros acabavam por reduzir a abundância de uma ou duas espécies dominantes, permitindo, assim, o aumento da diversidade de variedades raras no espaço disponibilizado (Harding & Lovelock, 1996, p. 113). Este modelo também apresentou regulação da temperatura planetária, apesar de esta regulação ter sido menos eficiente que a apresentada no modelo controle (no qual o planeta era povoado apenas pelas 23 espécies de margaridas). Os resultados deste trabalho foram interessantes, na medida em que possibilitaram uma melhor compreensão do que poderia acontecer em um mecanismo de regulação do mundo real. Afinal, em um ecossistema real, sempre há herbívoros (Harding & Lovelock, 1996, p. 115).

Em outro trabalho envolvendo o modelo do mundo das margaridas, Timothy Lenton e Lovelock desenvolveram um modelo que buscava mostrar a compatibilidade entre a teoria Gaia e a teoria da seleção natural (Lenton & Lovelock, 2000, p. 109). Segundo eles, o mundo das margaridas é um modelo darwiniano, na medida que apresenta competição (por espaço e, portanto, por luz) entre os diferentes tipos de vida (margaridas), com uma variação herdável em um traço (sua cor ou albedo) que afeta o seu *fitness*, ao alterar sua temperatura local e, portanto, sua taxa de crescimento, gerando uma forma rudimentar de seleção natural (Lenton & Lovelock, 2000, p. 109). Alguns críticos, no entanto, como Robertson e Robinson (1998) argumentam que o mundo das margaridas não dá atenção à capacidade fisiológica de adaptação dos seres vivos. Para eles, em um ‘mundo das margaridas darwiniano’, os organismos tenderiam a adaptar-se às mudanças do ambiente e, à medida que isso acontecesse, a regulação do ambiente iria enfraquecer até ser eliminada

(Robertson & Robinson, 1998, p. 129). Um modelo de ‘mundo das margaridas darwiniano’ foi implementado por Robertson e Robinson para verificar o efeito da taxa de adaptação na temperatura do planeta e a população das margaridas (Robertson & Robinson, 1998, p. 131). O resultado obtido nesse trabalho foi o esperado: com as margaridas sendo capazes de adaptar sua temperatura ótima de crescimento para as temperaturas que elas experienciaram localmente, a dinâmica das populações de margaridas perderia seu poder regulatório (Robertson & Robinson, 1998, p. 133). Para Lenton e Lovelock, o modelo de Robertson e Robinson (1998), no entanto, não é realístico, visto que, ao assumir-se esta versão de um ‘mundo das margaridas darwiniano’, também é necessário admitir que não existiriam limites nas condições ambientais para a adaptação de um organismo e que uma taxa igual de crescimento poderia ser alcançada sob quaisquer condições ambientais. Lenton e Lovelock desenvolvem, então, um modelo no qual incluem limites na adaptação e redução na taxa de crescimento à medida que esses limites se aproximam. Neste modelo, apresentando restrições, a auto-regulação planetária é alcançada, o que mostra que os limites na adaptação são necessários para que isso aconteça (Lenton & Lovelock, 2000, p. 114).

Em um trabalho ainda mais recente, publicado no ano de 2001, *Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation*, Lenton e Lovelock quantificam melhor os efeitos biológicos nos sistemas de auto-regulação e apresentam novas variantes do modelo do mundo das margaridas, em uma tentativa de resolver algumas importantes questões pendentes (Lenton & Lovelock, 2001, p. 288). Eles fazem uma consideração muito importante sobre a posição do modelo do mundo das margaridas perante a teoria Gaia. Para eles, o mundo das margaridas teria tornado-se um modelo arquétipico para a teoria Gaia (Lenton & Lovelock, 2001, p. 289). Na história da teoria, é possível observar que este modelo, a partir do momento em que foi apresentado por Lovelock, atraiu a atenção de uma grande quantidade de cientistas, seja para testar novas possibilidades de auto-regulação planetária, seja para criticá-lo, apresentando-se evidências contrárias a ele. Lenton e Lovelock consideram que muitas das críticas dirigidas a este modelo foram utilizadas, na verdade, para atacar a própria teoria Gaia (Lenton & Lovelock, 2001, p. 289). Este repentino interesse na teoria Gaia certamente foi o principal resultado do modelo do mundo das margaridas, que desempenhou um papel fundamental na história

da teoria, contribuindo para sua maior aceitação a partir do final da década de 1980. Graças ao impacto dos modelos geofisiológicos, a atenção da comunidade científica se voltou mais fortemente para os alicerces da teoria Gaia. Lenton e Lovelock, no entanto, afirmam que a teoria Gaia não depende da validação do modelo das margaridas, visto que o mundo das margaridas não pode resolver até que ponto ou de que forma a Terra é auto-reguladora. Em sua visão, este modelo pode oferecer algumas lições gerais sobre sistemas nos quais a vida é fortemente acoplada ao seu ambiente, mas a aceitação da teoria não depende necessariamente da validação do modelo (Lenton & Lovelock, 2001, p. 289). O mundo das margaridas se mostrou objeto de interesse para cientistas de várias áreas da ciência e apresentou contribuições, propiciando, por exemplo, um aumento na capacidade de construção de modelos do sistema da Terra, com a tentativa de incluir efeitos bióticos em tais modelos (Lenton & Lovelock, 2001, p. 303).

Com o desenvolvimento do mundo das margaridas a disponibilidade de uma maior quantidade de conteúdo teórico e empírico, Lovelock passou a apresentar a teoria Gaia de forma mais elaborada. Paralelos entre o sistema de regulação do ambiente terrestre descrito por Gaia e o mundo das margaridas se tornaram freqüentes nos artigos de Lovelock:

“Então, o que é Gaia? Se o mundo real que nós habitamos é auto-regulador à maneira do mundo das margaridas, e se o clima e o ambiente que nós desfrutamos e livremente exploramos é uma consequência de um sistema de busca de objetivos (*goal seeking system*) automático, mas não proposital, então Gaia é a maior manifestação da vida” (Lovelock, [1988]1995. p. 37).¹¹³

A importância do desenvolvimento de um modelo matemático considerando as espécies e o seu ambiente como um sistema único – o mundo das margaridas - é freqüentemente ressaltada por Lovelock. Ele vê nos modelos geofisiológicos a possibilidade de ampliar os conhecimentos da ecologia teórica. Desse modo, o modelo do mundo das margaridas e, em última análise, a teoria Gaia trariam novos conteúdos teóricos para a ecologia:

“A ecologia teórica é ampliada. Ao considerar-se as espécies e seu ambiente físico juntos, como um sistema único, nós podemos, pela primeira vez, construir modelos ecológicos que

são matematicamente estáveis e ainda incluem grandes números de espécies em competição. Nesses modelos, o aumento da diversidade das espécies leva a uma melhor regulação” (Lovelock, [1988]1995, p. 61).¹¹⁴

Em outros trabalhos deste período, também envolvendo a construção de modelos, Lovelock procurou compreender, sob um ponto de vista gaiano, as diferentes formas de equilíbrio dinâmico envolvendo a biosfera e os fatores ambientais, além das modificações ambientais que teriam ocorrido na Terra desde o surgimento da vida no planeta, no período Arqueano.

Segundo Lovelock ([1988]1995), no período Arqueano, havia um sistema planetário completo. Na superfície da Terra, existiam as cianobactérias que utilizavam a luminosidade solar para produzir seu próprio alimento, além de liberar O₂, que, no entanto, devido à abundância de compostos químicos inorgânicos reativos, não se dispersava além de seu local de produção. Também eram encontradas na superfície da Terra bactérias metanogênicas, que obtinham matéria e alguma energia pelo reagrupamento dos produtos moleculares dos produtores. A presença desses organismos ‘necrófagos’ teria garantido o descarte contínuo dos produtos e dos corpos dos fotossintetizadores e o retorno ao ambiente do elemento essencial carbono, na forma de metano e dióxido de carbono (Lovelock, [1988]1995, p. 72). De acordo com Lovelock, Gaia não teria surgido antes de as bactérias terem espalhado-se pela maior parte do planeta:

“Eu suspeito que a origem de Gaia foi separada da origem da vida. Gaia não teria acordado até que as bactérias já tivessem colonizado a maior parte do planeta. Uma vez acordada, a vida planetária resistiria assídua e incessantemente a mudanças que poderiam ser adversas e agiria de modo a manter o planeta adequado para a vida. A vida esparsa perdurando em um oásis nunca poderia ter o poder de regular ou opor-se a mudanças desfavoráveis que são

¹¹³ “So what is Gaia? If the real world we inhabit is self-regulating in the manner of Daisyworld, and if the climate and environment we enjoy and freely exploit is a consequence of an automatic, but not purposeful, goal seeking system, then Gaia is the largest manifestation of life”.

¹¹⁴ “Theoretical ecology is enlarged. By taking the species and their physical environment together as a single system, we can, for the first time, build ecological models that are mathematically stable and yet include large numbers of competing species. In these models increased diversity among the species leads to better regulation”.

inevitáveis em um planeta sem vida. A vida esparsa apenas seria encontrada no nascimento ou na morte de um sistema Gaiano” (Lovelock, [1988]1995, p. 72).¹¹⁵

Um aspecto importante a ser destacado no trecho acima é a atribuição a Gaia, por Lovelock, de uma capacidade de acordar. É interessante perceber que mesmo na década de 1980, com um maior desenvolvimento de sua teoria, Lovelock continua a fazer afirmações sobre a teoria que permitem interpretações animistas.

A idéia da necessidade de uma biosfera espalhada pela superfície do planeta para que seja possível o funcionamento de um sistema de auto-regulação ao nível planetário, como já foi discutido, também aparece na estrutura de Gaia desde 1974, quando foi publicado o artigo ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’. Lovelock considera que o sucesso dos fotossintetizadores teria levado à primeira crise ambiental da Terra e esta crise teria levado, de acordo com ele, ao despertar de Gaia. Para obter energia, os organismos fotossintetizadores teriam usado o CO₂ do ar e dos oceanos como fonte de carbono. Ao usar o CO₂ como alimento, as cianobactérias estariam destruindo a manta que mantinha o planeta aquecido no Arqueano, o que constituía um perigo para a vida na Terra naquele período. Havia, então, uma enorme quantidade de CO₂ proveniente da atividade vulcânica, mas o escoamento de CO₂ pela ação das cianobactérias era tão intenso que teria excedido esta fonte. Assim, haveria uma tendência de o ambiente esfriar até atingir um estado de congelamento. No entanto, segundo Lovelock, as evidências mostram que isso não aconteceu. Ele propõe, então, uma interação dinâmica entre os organismos e o ambiente para explicar o surgimento de um sistema auto-regulador da temperatura naquele período:

“O que eu gostaria de propor é uma interação dinâmica entre os fotossintetizadores iniciais, os organismos que processavam seus produtos e o ambiente planetário. A partir disso,

¹¹⁵ “I suspect that the origin of Gaia was separate from the origin of life. Gaia did not awaken until bacteria had already colonized most of the planet. Once awake, planetary life would assiduously and incessantly resist changes that might be adverse and act so to keep the planet fit for life. Sparse life hanging on in oases could never have the power to regulate or oppose the unfavorable changes that are inevitable on a lifeless planet. Sparse life would only be found at the birth or death of a Gaian system”.

ocorreu a evolução de um sistema de auto-regulação estável, um sistema que manteve a temperatura da Terra constante e confortável para a vida” (Lovelock, [1988]1995, p. 73).¹¹⁶

A argumentação sobre o sistema de auto-regulação planetária do Arqueano não seria, segundo Lovelock, nada mais que um vôo na imaginação. O objetivo de Lovelock, ao realizar uma reconstrução imaginária da vida no Arqueano, não foi o de argumentar a favor de um ou outro ecossistema Arqueano global, mas ilustrar como a teoria Gaia apresenta uma série de diferentes métodos para modelos planetários (Lovelock, [1988]1995, p. 73). O modelo proposto por Lovelock para o Arqueano constitui conteúdo excedente da teoria Gaia.

O mecanismo de controle da temperatura descrito por Lovelock se inicia com a liberação de metano para a atmosfera por bactérias metanogênicas. Sabe-se que o metano funciona como um gás estufa, apesar de ser muito mais volátil que o gás estufa CO₂. Segundo Lovelock, o metano liberado na atmosfera primitiva se quebrava pela ação da luz ultravioleta e os produtos da quebra se combinavam, formando uma fumaça na camada superior da atmosfera. Essa camada de poeira formada pelos produtos da quebra do metano agiria do mesmo modo que a atual camada de ozônio, estabilizando a existência da estratosfera e filtrando a radiação ultravioleta (Lovelock, [1988]1995, p. 75).

Em seu modelo de controle da temperatura planetária no Arqueano, Lovelock faz uma analogia entre os fotossintetizadores e as margaridas brancas do seu modelo do mundo das margaridas. Tanto as margaridas brancas como os fotossintetizadores do Arqueano agiriam de modo a esfriar a Terra. A ação de esfriamento da temperatura do planeta pelos fotossintetizadores seria explicada por sua capacidade de remover o CO₂ atmosférico. Os decompositores metanogênicos seriam como as margaridas pretas, ou seja, o seu crescimento levaria a um aquecimento da Terra por meio da liberação do gás estufa metano na atmosfera (Lovelock, [1988]1995, p. 76). Como no caso do mundo das margaridas, este modelo seria robusto, não sendo facilmente perturbado por mudanças na temperatura solar, população bacteriana ou aumento de CO₂ por fontes vulcânicas. Ele seria sensível a mudanças no arranjo ou na forma de relacionamento entre o crescimento bacteriano e a temperatura ambiental. Neste modelo, existe também uma mudança abrupta nas condições

¹¹⁶ “What I would like to propose is a dynamic interaction between the early photosynthesizers, the organisms that processed their products, and the planetary environment. From this there evolved a stable self-regulating

do planeta quando a vida começa. Os organismos vivos, então, crescem rapidamente até que um estado constante seja alcançado, no qual crescimento e decomposição estão em equilíbrio. Esta tendência rápida e quase explosiva de expandir-se para ocupar um ‘nicho ambiental’ agiria como um amplificador. O sistema se moveria rapidamente através de uma retroalimentação positiva até alcançar um equilíbrio. Com a estabilidade alcançada, o planeta seguiria adiante, em uma confortável homeostase para a biota (Lovelock, [1988]1995, pp. 78-79).

Uma idéia que Lovelock questiona nesse modelo é a de que a vida somente teria atingido as áreas continentais da Terra a partir da formação da camada de ozônio. Segundo ele, não poderia haver camada de ozônio na atmosfera terrestre no início da vida, visto que gases como o hidrogênio e o metano eram dominantes nessa atmosfera e, mesmo que houvesse algum oxigênio na atmosfera terrestre, ele não poderia ter sido usado para formar ozônio. Em uma atmosfera reduzida, apresentando hidrogênio e metano, o oxigênio tenderia a reagir com estes compostos, não permanecendo em sua forma atômica na atmosfera e, consequentemente, não sendo capaz de formar moléculas de O_3 (Lovelock, [1988]1995, p 83). Lovelock afirma que a presença de uma camada de ozônio não é um fator essencial para a vida. Seu argumento de que a vida não é inviável na presença da radiação ultravioleta surgiu a partir da observação de um trabalho realizado no *National Institute for Medical Research*, no ano de 1948, por Robert Bourdillon e Owen Lindwell, com o objetivo de desenvolver métodos para matar bactérias aeróbicas e, assim, prevenir infecções em enfermarias hospitalares. Naquele trabalho, Bourdillon e Lindwell testaram a possibilidade de matar tais bactérias a partir de uma exposição destas à radiação ultravioleta. Foi observado que bactérias expostas de algumas espécies, quando suspensas no ar, em gotas, eram facilmente destruídas. Mas, caso fossem protegidas por um pequeno filme de matéria orgânica, mesmo as espécies mais sensíveis de bactérias eram capazes de resistir quase completamente à ação da radiação ultravioleta. Como no mundo real as bactérias não são encontradas suspensas em água destilada ou em soluções salinas, mas cobertas por secreções mucosas ou pelos constituintes orgânicos e minerais de seu ambiente, Bourdillon e Lindwell concluíram que a utilização de radiação ultravioleta para a destruição de bactérias do ambiente hospitalar não seria eficiente. A partir desse

system, a system that kept the Earth’s temperature constant and comfortable for life”.

experimento, Lovelock se recusava a aceitar a idéia de que a irradiação por ultravioleta natural da superfície terrestre do Arqueano, muito mais fraca do que aquela empregada nos experimentos de Bourdillon e Lindwell, poderia impedir sua colonização (Lovelock, [1988]1995, p. 84). Segundo Lovelock, a crença de que a radiação ultravioleta é incondicionalmente letal para a vida na Terra tem sustentado uma visão distorcida do Arqueano e de outros períodos na evolução de Gaia (Lovelock, [1988]1995, pp. 84-85).

Lovelock afirma que, de acordo com a geofisiologia, a fronteira do Arqueano coincidiu com o aparecimento do O₂ livre no ar. A presença de O₂ no ar, no entanto, não eliminou os ecossistemas anóxicos; eles foram meramente segregados para águas paradas e sedimentos (Lovelock, [1988]1995, pp. 90-91). Ele apresenta (Lovelock, [1988]1995), então, algumas considerações sobre o período Proterozóico, que se seguiu ao Arqueano. Quando o Proterozóico teve início, a divisão entre o que Lovelock denomina dois ecossistemas planetários, as regiões da superfície terrestre óxicas e anóxicas, já estava completa. Lovelock propôs um modelo para explicar como teria acontecido a mudança do ambiente do Arqueano para o Proterozóico e como esse novo sistema cibernetico de controle das variáveis ambientais funcionaria. O modelo de Lovelock começa com o aumento da concentração de O₂ na atmosfera no final do Arqueano. Nesse modelo, o O₂ cresce em abundância até as propriedades geofisiológicas do sistema estabelecerem um novo nível constante, através de um mecanismo envolvendo a quantidade de carbono absorvida e a quantidade de material reduzido exposto. A presença de um excesso de O₂ teria agido aumentando a taxa de intemperismo e, então, aumentando o suprimento de nutrientes, os quais, por sua vez, poderiam ter favorecido um ecossistema mais amplo. Mais carbono teria sido absorvido e o aumento dos níveis de O₂ teria acelerado até a toxicidade do O₂ alcançar seu limite. Neste momento, os microorganismos anaeróbicos, responsáveis pelos mecanismos de absorção do carbono, poderiam ter diminuído para o mesmo tamanho que apresentavam no Arqueano e a produção de O₂ novamente se igualaria à perda de O₂ pela exposição de substâncias oxidáveis durante o intemperismo (Lovelock, [1988]1995, pp. 113-114).

Com relação aos mecanismos de controle do período Fanerozóico, que se estende até os dias de hoje e que é caracterizado por uma concentração de oxigênio que tem mantido-se constante em cerca de 21%, Lovelock discute possíveis mecanismos para o

controle do O₂ e do CO₂. Esses mecanismos já foram apresentados anteriormente neste trabalho e vêm sendo explorados por Lovelock desde a década de 1970, antes mesmo da publicação da primeira versão da teoria Gaia.

É possível observar que Lovelock, ao apresentar esses modelos de interações dinâmicas entre a biosfera e o ambiente, faz uma especulação teórica do que poderia ter acontecido desde o período Arqueano, a partir do surgimento dos primeiros organismos fotossintetizadores. Esta não é uma evidência empírica a favor de Gaia, mas uma interpretação, sob uma perspectiva gaiana, das informações disponíveis na Terra como os detritos radioativos, registros fósseis e atmosfera, que representam o passado do nosso planeta (Lovelock, [1988]1995, pp. 66-67). Para Lovelock em uma investigação acerca do passado da Terra o que se deve fazer é a melhor estimativa possível sobre a condição da Terra antes da vida, e então considerar as mudanças que poderiam ter acontecido quando a vida surgiu (Lovelock, [1988]1995, p. 63). Uma interpretação desta natureza pode ser feita sob várias perspectivas, como, por exemplo, da perspectiva de que a vida somente poderia existir a partir do surgimento da camada de ozônio. Lovelock utiliza como ponto norteador de suas especulações a possibilidade de evolução de sistemas estáveis de auto-regulação em cada um dos períodos apresentados. A interpretação de Lovelock de tais períodos é muito interessante, visto que diversos mecanismos de regulação são apresentados em modelos envolvendo os organismos e o ambiente existentes em cada período. Como vimos, alguns desses mecanismos têm sido discutidos desde a década de 1970. No entanto, o que surge como novidade no livro *The Ages of Gaia: a biography of our living Earth* é o desenvolvimento de todo um raciocínio cronológico acerca de como e quando tais mecanismos teriam aparecido na história do planeta. Assim como o mundo das margaridas propicia um modelo capaz de explicitar como um sistema de auto-regulação da temperatura poderia funcionar a um nível planetário, os modelos das dinâmicas do planeta Terra nos períodos Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico propiciam uma explicação, em termos gaianos, das principais mudanças e constâncias que o planeta teria apresentado desde o surgimento da vida. Tanto o modelo do mundo das margaridas quanto os modelos da dinâmica planetária terrestre constituem-se como parte do cinturão protetor desta teoria, suplementando seu núcleo irredutível com suposições adicionais. Estes modelos aparecem

como conteúdos excedentes da teoria Gaia e possibilitam novas previsões empíricas e teóricas.

Com relação ao seu terceiro livro, publicado em 1991, *Gaia the practical science of planetary medicine*, Lovelock faz um comentário interessante: Segundo ele, o título do livro, referindo-se a uma ciência prática de medicina planetária, foi escolhido por ele de modo a não provocar uma compreensão equivocada do público, que poderia acontecer, por exemplo, caso utilizasse um título como ‘Earth Medicine’ (medicina da Terra). No entanto, uma editora norte-americana, Harmony Books, publicou este livro com o título *Healing Gaia* (curando Gaia) e, ao fazer isso, deu espaço para que esse livro fosse colocado pelas livrarias nas mesmas prateleiras ocupadas por livros associados ao pensamento da Nova Era, junto a temas como astrologia e aromaterapia (Lovelock, [2000]2001, pp. 273-274).

A oportunidade mais importante dada à teoria Gaia de desenvolver-se como uma teoria unificada foi, segundo Lovelock, propiciada pelo auxílio financeiro do norueguês Knut Kloster. Com o dinheiro recebido para apoiar suas pesquisas, Lovelock organizou três reuniões científicas internacionais sobre a teoria Gaia em Oxford, com o objetivo de favorecer o reconhecimento de seu valor científico. A primeira reunião aconteceu no ano de 1994 e teve como tema ‘a Terra auto-reguladora’. Entre os debates realizados neste encontro, merece destaque aquele intitulado ‘Quem possui Gaia: os cientistas ou o público?’. Neste debate, o ambientalista Jonathon Porritt defendeu a idéia de que Gaia não deveria ser propriedade apenas dos cientistas, visto que seu valor como influência teórica unificadora era muito grande. Também houve outra discussão neste encontro em que a idéia de substituir o termo ‘Gaia’ pelo termo ‘geofisiologia’, proposta pelo próprio Lovelock, foi rejeitada (Lovelock, [2000]2001, p. 274-275). A segunda reunião organizada por Lovelock para discutir a teoria Gaia aconteceu em 1996 e seu tema principal foi ‘A evolução do ‘super-organismo’. Nesta reunião, o biólogo evolutivo neodarwinista John Maynard Smith, antes um crítico veemente da teoria Gaia, fez uma palestra na qual afirmou que, apesar de considerar ‘Gaia’ um nome terrível e de preferir que Lovelock não se referisse à Terra como um ser vivo, ele estava preparado para tratar a teoria como um tópico científico (Lovelock, [2000]2001, pp. 275-276). Em 1999, aconteceu a última da série de conferências que possibilitaram, segundo Lovelock, o estabelecimento da teoria Gaia como um tópico científico sério (Lovelock, [2000]2001, p. 277).

Com relação à estrutura da teoria Gaia a partir da década de 1980, podemos verificar que o seu núcleo duro foi mantido o mesmo, com a presença da proposição de que Gaia consiste em um sistema capaz de se auto-regular, além das idéias de homeostase, otimização e teleologia. O cinturão protetor foi modificado com a substituição da proposição de que a biosfera determinaria as mudanças na Terra pela idéia de que organismos vivos e ambiente formariam uma entidade única, Gaia, que regularia a si mesma. Esta modificação foi de grande importância para a teoria Gaia, podendo mesmo ser considerada uma das principais características que distinguem a versão atual das versões anteriormente apresentadas. Agora não somente a biosfera, mas o conjunto compreendendo a biosfera e fatores físico-químicos são considerados como determinantes da regulação do ambiente ao nível planetário. A idéia de que Gaia é uma teoria compatível com o Darwinismo, apesar de já aparecer no artigo de Margulis e Lovelock (1974), é abordado de forma mais abrangente nessa nova versão da teoria Gaia, com os novos argumentos que Lovelock apresenta para defender a idéia de que Gaia não contradiz a teoria evolutiva neodarwinista, mas a complementa. Estes argumentos incluem a idéia de que organismo e ambiente evoluem conjuntamente e de que a evolução de Gaia ocorre aos saltos, de forma pontuada, também aparecem entre as novas proposições auxiliares do cinturão protetor da teoria. Modelos como o mundo das margaridas e suas variantes (apresentando não apenas mais espécies de margaridas como também consumidores primários e secundários, e, inclusive, perturbações ambientais e genéticas) também foram desenvolvidos como tentativas de apresentar esse tipo de evolução acoplada da biosfera e do ambiente físico-químico. Um outro objetivo de Lovelock ao desenvolver tais modelos se constituiu na tentativa de corroborar a idéia de Lovelock de que a teoria Gaia não apresenta teleologia. Outros modelos, envolvendo a existência de sistemas de auto-regulação planetária no Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico também foram desenvolvidos a partir da década de 1980. Para os seus modelos de auto-regulação planetária desde o surgimento da vida, Lovelock introduziu novas hipóteses auxiliares, tais como: (1) a idéia de que a vida não dependeu da presença de uma camada de ozônio na atmosfera para dispersar-se por todo o planeta; e (2) a idéia de que a radiação ultravioleta não é incondicionalmente letal para a vida na Terra e que a crença generalizada na idéia contrária teria levado a uma visão distorcida do período Arqueano, bem como de outros períodos na evolução de Gaia. Todos

esses argumentos e modelos aparecem como conteúdos excedentes da teoria Gaia a partir da década de 1980. Como conteúdo empírico excedente da teoria Gaia, temos os estudos procurando verificar um papel do DMS e, consequentemente, da biosfera em sistemas de regulação da temperatura planetária.

3.8) As modificações estruturais da teoria Gaia e sua científicidade.

Com base na análise das versões da teoria Gaia desenvolvidas desde a década de 1970, bem como dos trabalhos de Lovelock da década de 1960 que foram precursores dessa teoria, foi possível chegar a uma série de conclusões acerca das alterações sofridas pela teoria ao longo de sua história. Nesta seção final, pretendemos construir uma síntese da análise realizada nas seções anteriores e avaliar a científicidade da teoria Gaia, de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos.

Inicialmente, vamos tratar do núcleo duro de cada uma das versões da teoria Gaia identificadas. Foi observado que o núcleo duro da teoria permaneceu o mesmo ao longo de toda a sua história. Este núcleo duro consiste na proposição de que há na Terra um sistema cibernetico de controle envolvendo a biosfera e o ambiente no qual fatores como a temperatura e a composição química, são controlados a partir de alças de retroalimentação (feedback) em uma regulação a nível planetário. Também aparecem no núcleo duro da teoria Gaia as idéias de homeostase planetária, de acordo com a qual Gaia procuraria manter o planeta Terra em condições relativamente constantes; otimização, propondo-se que a entidade Gaia busca ativamente um ambiente físico e químico ótimo para a biosfera; e teleologia, com a idéia de propósito implícita na ação da biosfera nas alças de retroalimentação planetárias. O fato de que todas as versões da teoria Gaia analisadas apresentam o mesmo núcleo duro permite, de acordo com os critérios propostos por Lakatos, a individuação de Gaia como um programa de pesquisa. De acordo com Lakatos, todo programa de pesquisa é caracterizado por ter uma heurística negativa, consistindo na proposição de que o núcleo duro de um programa jamais pode ser alterado: uma alteração do núcleo duro implicaria uma mudança de programa de pesquisa. O cinturão protetor da teoria Gaia, no entanto, sofreu várias modificações desde sua primeira apresentação, que vêm propiciando cada vez mais pistas sobre como desenvolver e aplicar os conteúdos apresentados por esta teoria. Estas modificações do cinturão protetor também são esperadas

em um programa de pesquisa lakatosiano, tendo-se em vista a heurística positiva do programa, que consiste na possibilidade de alterar e desenvolver novas proposições auxiliares para o cinturão de um programa de modo a proteger o núcleo duro de ataques diretos e propiciar um desenvolvimento da teoria a partir sugestões ou palpites sobre como desenvolver e modificar as suas “variantes refutáveis”. Na primeira versão da teoria Gaia, que está presente nos trabalhos de Lovelock desde 1972 até 1979 pôde-se verificar que o seu cinturão protetor apresentou várias modificações. Tais modificações não se caracterizaram em uma mudança de versão da teoria Gaia, mas em um desenvolvimento gradual do cinturão protetor de sua primeira versão, visto que de acordo com o critério utilizado nesta análise, a mudança de versão da teoria ocorreria quando uma proposição do cinturão protetor fosse modificada e não por uma simples inclusão de proposições a este cinturão, salvo quando as proposições tenham sido incluídas especificamente para salvar o núcleo duro de falsificação. Esta versão foi analisada no artigo ‘Gaia as Seen Through the Atmosphere’ (1972), nos artigos de Lovelock e Margulis ‘Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis’ (1974a) e de Margulis e Lovelock ‘Biological Modulation of the Earth’s Atmosphere’ (1974) e, por fim no livro *Gaia a New Look at Life on Earth* (1979[2000]). A análise detalhada dos artigos da década de 1970 mostrou-se necessária pelo fato de a teoria Gaia estar sendo apresentada pela primeira vez, tendo grande parte de seu conteúdo estabelecido nessa época. A partir dessa análise tornou-se possível uma verificação das modificações que foram ocorrendo com o desenvolvimento da teoria Gaia. Entre as proposições do cinturão protetor da teoria Gaia que estão presentes em todos os artigos em que sua primeira versão é apresentada temos: (1) a compreensão de que a vida ou a biosfera como um todo, é capaz de controlar o meio ambiente de modo a adaptá-lo às suas necessidades; (2) O argumento de que Gaia é uma entidade viva; (3) a afirmação de que a atmosfera é uma parte não viva de Gaia (4) a compreensão de Gaia como sinônimo de biosfera e/ou da Terra e (5) a idéia de emergência de propriedades. Novas proposições auxiliares foram acrescentadas ao cinturão protetor desta versão da teoria Gaia. Tais proposições envolvem uma grande quantidade de conteúdo empírico excedente, incluindo: (1) a atribuição de papéis a gases de origem biológica encontrados na atmosfera, como o metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2), amônia (NH_3) etc.; (Lovelock & Margulis, 1974a); (2) a proposição de uma participação dos gases sulfeto de dimetila

(DMS), iodeto de metila (CH_3I) e dimetil selênio ($\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}$), na transferência em massa de elementos essenciais entre a Terra e o mar (Lovelock & Margulis, 1974a); (3) a atribuição de um papel essencial aos microorganismos procarióticos nos mecanismos de regulação planetária (Margulis & Lovelock, 1974); (4) as especulações realizadas e, então, pouco exploradas envolvendo modelos desenvolvidos para explicar o controle da temperatura, do pH, do potencial redox e da transferência de gases atmosféricos (Margulis & Lovelock, 1974); (5) especulações sobre a regulação de CO_2 e O_2 , ainda em fase inicial (Margulis & Lovelock, 1974); (6) a idéia de que existiriam mecanismos de controle da salinidade dos oceanos envolvendo uma relação com sistemas biológicos; (Lovelock, [1979]2000) e (7) a idéia de que os CFCs estão envolvidos no aquecimento planetário (Lovelock, [1979]2000). Também foi observado o aparecimento de proposições teóricas importantes: (1) a idéia de que a teoria Gaia e a teoria neodarwinista da evolução não são incompatíveis (Margulis & Lovelock, 1974); e (2) a idéia de que a vida esparsa em uma escala planetária não permite a atuação do sistema cibernetico de Gaia (Margulis & Lovelock, 1974). Um conteúdo empírico excedente da teoria Gaia foi corroborado empiricamente no começo da década de 1970, o papel do DMS liberado pelas algas na transferência de enxofre dos oceanos para a atmosfera e a verificação da atuação de organismos vivos no ciclo do enxofre. As evidências que constituíram na base empírica que deu apoio à teoria Gaia em sua primeira versão foram: (1) os registros geológicos mostrando que, apesar das mudanças que ocorreram na composição da atmosfera terrestre nos últimos 3 bilhões de anos, incluindo sua transformação de uma atmosfera reduzida para uma atmosfera oxidada, e do aumento da energia radiante do sol, a persistência da vida mostra que a temperatura da superfície não variou em mais que alguns graus em relação ao seu nível atual; (2) os registros geológicos mostram que além da temperatura, outros fatores como a composição química da atmosfera e o pH estariam apresentam uma estabilidade desde o surgimento da vida na Terra; (3) o fato da atmosfera da Terra poder ser considerada anômala, quando comparada às atmosferas de Marte e Vênus; e (4) a constatação de que caso não houvesse vida, o oxigênio e o nitrogênio iriam declinar em concentração até restarem apenas traços destes gases na atmosfera.

A análise da estrutura de Gaia desde a década de 1980 até os dias atuais foi feita em conjunto, não sendo separada nem por década, nem pelos livros e artigos específico. Foi

observado que, no início da década de 1980, o cinturão protetor da teoria Gaia sofreu uma alteração importante que levou ao surgimento da segunda versão da teoria Gaia. Esta alteração consistiu na substituição de uma proposição de grande importância na versão da década de 1970 por uma nova proposição que permanece na teoria Gaia até os dias de hoje – a proposição de que a biosfera controla o sistema de cibernetico de controle das variáveis ambientais foi substituída pela proposição de que a biosfera e o ambiente em conjunto seriam os responsáveis por tal regulação. A análise em conjunto da segunda versão da teoria Gaia foi uma consequência da constatação durante a realização desse trabalho, de que, ao contrário do que ocorreu com a versão da década de 1970, na qual a teoria Gaia estava em sua fase inicial, a versão da teoria Gaia a partir da década de 1980 não sofreu grandes modificações no conteúdo de seu cinturão protetor. Na realidade, o que parece ter acontecido a partir da década de 1980 foi o estabelecimento de linhas de pesquisas teóricas e empíricas que são desenvolvidas até hoje. Um exemplo de tais linhas de pesquisa é o trabalho envolvendo a liberação na atmosfera do gás DMS pelas algas dos oceanos e sua possível influência na formação de nuvens e no controle da temperatura planetária. Esta linha de pesquisa vem sendo desenvolvida até hoje, através de estudos de pesquisadores como Tim Lenton e William D. Hamilton, já falecido, que publicaram um artigo em 1998 no qual relatam uma possível ligação entre a necessidade de as algas liberarem seus esporos em áreas mais distantes nos oceanos e os ventos causados pela condensação de nuvens pela liberação de DMS na atmosfera pelas próprias algas. Neste trabalho, eles sugerem que, além de controlar a temperatura da atmosfera, o ciclo do DMS também poderia estar implicado na disseminação dos esporos dessas algas nos oceanos. Uma outra linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida está relacionada ao desenvolvimento de modelos que apresentem sistemas capazes de se auto-regular em escala planetária, sem que essa auto-regulação implique uma incompatibilidade com a teoria neodarwinista da evolução ou algum tipo de intencionalidade por parte dos organismos. É esperado que o desenvolvimento de tais linhas de pesquisa venham a trazer novas modificações para o cinturão protetor da teoria como, por exemplo, o desenvolvimento de novos modelos geofisiológicos concernentes ao controle de novas variáveis ambientais, com o objetivo de testar ainda mais detalhadamente a dinâmica de sistemas de auto-regulação. No entanto, apesar de não apresentar em detalhes todos os trabalhos que foram realizados a partir do

desenvolvimento das linhas de pesquisa em Gaia a partir da década de 1980, esta análise mostra as principais linhas de pesquisa e os trabalhos destas linhas de pesquisa que tiveram maior destaque e acrescentaram mais informações a teoria Gaia, além das especulações empíricas e teóricas que, mesmo ainda não tendo sido corroboradas, se apresentam como novas possibilidades de estudos envolvendo a teoria Gaia.

A teoria Gaia apresenta, na versão encontrada nos trabalhos de Lovelock publicados desde a década de 1980 o mesmo núcleo duro da versão anterior descrita nesta análise. Seu cinturão protetor, no entanto, sofreu alterações em proposições importantes e novas proposições foram acrescidas. Podemos mesmo dizer que, neste período, a teoria Gaia alcançou um maior estágio de maturidade e coerência. Com relação às modificações de proposições auxiliares do cinturão protetor de Gaia, a principal delas ocorreu no início da década de 1980 com a substituição da idéia de que a biosfera controlaria a Terra, encontrada em todas as apresentações da teoria até o final da década de 1970, pela idéia de que os organismos vivos e ambiente físico-químico da Terra formam a entidade Gaia e essa entidade, entendida como um sistema que seria maior do que a soma de suas partes, regula a si mesma. É possível verificar que entre as novas proposições que surgiram na teoria, a maior parte delas está relacionada com a tentativa de abordar a compatibilidade da teoria Gaia com o neodarwinismo de forma mais abrangente, a partir da construção de novos argumentos. Estes argumentos incluem: (1) A idéia de que a evolução de Gaia ocorre aos saltos; (3) O modelo do mundo das margaridas e outros modelos geofisiológicos construídos a partir dele; (4) Modelos, envolvendo a existência de sistemas de auto-regulação planetária no Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico. Ainda com relação ao cinturão protetor de Gaia é possível verificar um conteúdo empírico excedente. Este conteúdo, que utiliza como base a proposição já corroborada da teoria Gaia de que o DMS, um gás liberado pelas algas dos oceanos, é o gás responsável pela transferência em massa do enxofre dos oceanos para a atmosfera, consiste em novos trabalhos empíricos que procuram verificar a existência de um papel do DMS e consequentemente da biosfera, em sistemas de controle da temperatura planetária. Tal sistema envolveria aspectos como a relação entre a liberação do DMS, a formação de nuvens e, consequentemente, a diminuição da temperatura do planeta.

A partir dessa síntese das principais alterações sofridas pela teoria Gaia durante seu desenvolvimento, podemos chegar a algumas conclusões. Como já foi observado, todas as versões da teoria Gaia que identificamos em nossa análise possuem o mesmo núcleo duro, podendo-se dizer, assim, que Gaia constitui um programa de pesquisa único. Também é possível observar a partir da análise das proposições que compõem o cinturão protetor de cada uma das versões da teoria Gaia, que este programa de pesquisa vem se desenvolvendo e apresentando uma adição constante de novas proposições. Isso mostra que estamos tratando de uma seqüência de teorias que fazem parte de um mesmo programa de pesquisa. No caso da versão da teoria que surge a partir da década de 1980, foi possível verificar a existência de uma alteração em uma proposição teórica de grande importância no cinturão protetor: a proposição de que a biosfera controla a Terra foi substituída pela proposição de que a biosfera e o ambiente juntos formariam um sistema auto-regulador, que Lovelock denomina Gaia, maior do que a soma de seus componentes e apresentando, assim, propriedades emergentes (conforme entendidas por Lovelock). Essa é uma importante modificação na estrutura da teoria Gaia, na medida em que altera o modo de compreender-se o sistema de auto-regulação planetário preconizado nas proposições nucleares da teoria.

Quanto às novidades teóricas que surgiram com o desenvolvimento da teoria Gaia, destacamos a construção de diversos modelos geofisiológicos envolvendo as relações entre a biosfera e o ambiente físico-químico, que permitem a investigação de como um sistema de auto-regulação ao nível planetário poderia ser formado, em conformidade com as proposições da teoria. O primeiro desses modelos, que mudaram significativamente a recepção da teoria Gaia pela comunidade científica, foi o modelo do mundo das margaridas. A partir deste modelo inicial, uma série de variações foram construídas, constituindo modelos geofisiológicos cada vez mais complexos, até chegar-se aos modelos propostos por Lovelock para a regulação do ambiente físico-químico da Terra nos períodos Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico. Um número crescente de pesquisadores tem aderido ao programa de pesquisa de Gaia, elaborando modelos geofisiológicos cada vez mais complexos, envolvendo um número cada vez maior de variáveis ambientais e biológicas. Entre os cientistas que se incorporaram ao programa de pesquisa de Gaia a partir da década de 1980, merecem destaque Andrew Watson, que teve Lovelock como orientador de doutorado entre os anos de 1976 e 1978 e que colaborou com Lovelock na construção do

modelo do mundo das margaridas; Stephan Harding, que desenvolveu juntamente com Lovelock modelos das margaridas com novas perturbações, como a adição de novos organismos; William D. Hamilton, um dos biólogos evolutivos mais importantes da segunda metade do século XX; e Tim Lenton, que desde 1997 vem apresentando, segundo o próprio Lovelock, uma dedicação a Gaia tão profunda quanto a sua. Assim, Lovelock considera fácil e prazeroso passar esta teoria para Tim Lenton, que segundo ele é o seu sucessor. Ainda com relação à importância da adesão de novos cientistas a teoria Gaia, Lovelock afirma em seu livro mais recente *Homage to Gaia: The Life of an Independent Scientist* que não haveria dúvidas de que é chegado o seu momento de parar com os trabalhos na teoria Gaia e deixar o desenvolvimento adicional nas mãos de cientistas como Tim Lenton, Lynn Margulis e Stephan Harding (Lovelock, 2001, p. 279). Este é um aspecto relevante, visto que mostra como a teoria Gaia, a partir da década de 1990, em sua segunda versão, passou a ser mais aceita pela comunidade científica, finalmente recebendo atenção como uma teoria científica da qual é possível derivar hipóteses testáveis. Além disso, isso mostra a vitalidade e o poder heurístico do programa de pesquisa de Gaia, capaz de atrair pesquisadores importantes e produtivos para as suas fileiras. A idéia de que a teoria Gaia pode ser entendida como uma teoria darwinista, de acordo com a qual organismos e ambientes evoluiriam em conjunto é outro aspecto que merece destaque, visto que a grande resistência à teoria Gaia na comunidade de biólogos esteve sempre relacionada à afirmação de que o mecanismo darwinista de seleção natural não poderia resultar em um altruísmo ao nível global, tal como suposto na teoria de Lovelock. É muito relevante, assim, que um biólogo evolutivo neodarwinista tão importante quanto Maynard Smith, que antes criticava vigorosamente a teoria Gaia, pelo motivo apontado acima, tenha afirmado, na década de 1990, que estava preparado para tratar a teoria como um tópico científico (Lovelock, [2000]2001, pp. 275-276).

Foi possível observar que estudos realizados por Lovelock e colaboradores resultaram em uma grande quantidade de evidências empíricas que corroboraram previsões novas decorrentes da teoria Gaia, como no caso, por exemplo, dos estudos buscando verificar as funções de gases atmosféricos de origem biológica ou o efeito estufa de certos gases, como o CO₂ e os CFCs. Uma evidência empírica corroboradora da teoria Gaia foi obtida ainda na década de setenta, indicando que o DMS liberado pelas algas tem a

importante função de transferir o enxofre dos oceanos para a atmosfera. Os resultados obtidos por Lovelock e colaboradores fortaleceram, então, a idéia de que organismos vivos são elementos necessários dos ciclos de gases atmosféricos, tal como previsto na teoria Gaia. A linha de pesquisa envolvendo o DMS ainda é explorada até os dias de hoje, com estudos sobre a sua liberação pelas algas, as suas relações com a produção de nuvens e, consequentemente, com a regulação da temperatura planetária, e, mais recentemente, a sua função no processo de formação de ventos, que resultariam na disseminação dos esporos das algas que liberam DMS.

Os resultados obtidos na análise das publicações de Lovelock sobre a teoria Gaia mostram, portanto, que a seqüência de teorias que constituem o programa de pesquisa Gaia apresenta uma grande quantidade de novidades tanto teóricas quanto empíricas. Nesta análise, nós também observamos a existência de alterações progressivas de problemas empíricos, como no caso dos estudos sobre o gás DMS, que, como já foi discutido, vêm sendo desenvolvidos até hoje, com tentativas de verificar outros aspectos e fenômenos envolvidos na liberação de DMS na atmosfera pelas algas, além da finalização do ciclo do enxofre. Também foi possível observar alterações de problemas teoricamente progressivas, com o desenvolvimento de toda uma linha de pesquisa envolvendo modelos geofisiológicos da evolução conjunta da biosfera e do ambiente. Assim, podemos considerar a teoria Gaia como um programa de pesquisa tanto teórica quanto empiricamente progressivo. Desse modo, a teoria Gaia pode ser considerada um programa de pesquisa científico, de acordo com o critério de demarcação incluído na metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos. O programa de pesquisa Gaia pode ser apresentado como uma sucessão de teorias que vêm produzindo uma quantidade crescente de previsões novas e evidências empíricas corroboradoras de tais previsões, sem, no entanto, abandonar as idéias nucleares que o caracterizam como um programa de pesquisa único.

As tabelas I e II permitem uma melhor visualização das duas versões do programa de pesquisa Gaia, com suas proposições nucleares e auxiliares, incluindo proposições teóricas, previsões novas (conteúdo excedente) e estudos que obtiveram evidências corroboradoras.

Tabela I: Programa de Pesquisa Gaia – Primeira Versão (década de 1970)

NÚCLEO DURO: PROPOSIÇÕES NUCLEARES	CINTURÃO PROTETOR		
	PROPOSIÇÕES TEÓRICAS	CONTEÚDOS EMPÍRICOS	
Excedentes	Corroborados		
A Terra apresenta um sistema cibernético de controle envolvendo a biosfera e o ambiente. Fatores como a temperatura e a composição química são regulados a um nível planetário por tal sistema, por meio de alças de retroalimentação (<i>feedback</i>).	A vida/biosfera controla o ambiente físico-químico do planeta de modo a adaptá-lo às suas necessidades.	Atribuição de papéis a gases de origem biológica encontrados na atmosfera, como o metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2), amônia (NH_3) etc.	Os registros geológicos mostram que, apesar das mudanças que ocorreram na composição da atmosfera terrestre nos últimos 3 bilhões de anos, incluindo sua transformação de uma atmosfera reduzida para uma atmosfera oxidada, e do aumento da energia radiante do sol, a temperatura da superfície não variou mais que alguns graus em relação ao seu nível atual.
Gaia homeostática	Gaia é viva.	Participação dos gases sulfeto de dimetila (DMS), iodeto de metila (CH_3I) e dimetil selênio ($\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}$), na transferência em massa de elementos essenciais entre a Terra e o mar.	Os registros geológicos mostram que, além da temperatura, outros fatores como a composição química da atmosfera e o pH apresentam uma estabilidade desde o surgimento da vida na Terra.

Continuação da tabela da página 171			
Gaia otimizadora	A atmosfera é uma parte não-viva de Gaia.	Os microorganismos procarióticos desempenhariam o papel principal nos mecanismos de regulação planetária.	A atmosfera da Terra é considerada anômala, quando comparada às atmosferas de Marte e Vênus
Gaia teleológica	Gaia como sinônimo de biosfera e/ou da Terra.	Desenvolvimento de modelos para explicar o controle da temperatura, do pH, do potencial redox e da transferência de gases atmosféricos.	A constatação de que, caso não houvesse vida, o oxigênio e o nitrogênio iriam declinar em concentração até restarem apenas traços destes gases na atmosfera.
	Idéia de emergência de propriedades, entendida simplesmente com base na máxima de que o todo é mais do que a soma das partes.	Especulações sobre a regulação dos ciclos do CO ₂ e O ₂ , ainda em fase inicial.	Verificação do papel do DMS liberado pelas algas na transferência de enxofre dos oceanos para a atmosfera, demonstrando-se a atuação de organismos vivos no ciclo do enxofre.
	A teoria Gaia e a teoria neodarwinista da evolução não são incompatíveis.	Suposições acerca de mecanismos de controle da salinidade dos oceanos envolvendo uma relação com sistemas biológicos.	
		Os CFCs estariam envolvidos no aquecimento planetário.	

Tabela II: Programa de Pesquisa Gaia – Segunda Versão (a partir da década de 1980)

NÚCLEO DURO: PROPOSIÇÕES NUCLEARES	CINTURÃO PROTETOR		
	PROPOSIÇÕES TEÓRICAS MODIFICADAS (M) OU ADICIONADAS (A).	CONTEÚDOS EMPÍRICOS	
		Excedentes	Corroborações
A Terra apresenta um sistema cibernético de controle envolvendo a biosfera e o ambiente. Fatores como a temperatura e a composição química são regulados a um nível planetário por tal sistema, por meio de alças de retroalimentação (<i>feedback</i>).	Os organismos vivos e o ambiente físico-químico da Terra formam a entidade Gaia e essa entidade, entendida como um sistema que seria maior do que a soma de suas partes, regula a si mesma. (M)	Desenvolvimento de novos trabalhos procurando verificar um possível papel do DMS em sistemas de controle da temperatura planetária.	Os registros geológicos mostram que, apesar das mudanças que ocorreram na composição da atmosfera terrestre nos últimos 3 bilhões de anos, incluindo sua transformação de uma atmosfera reduzida para uma atmosfera oxidada, a temperatura da superfície não variou mais que alguns graus em relação ao seu nível atual.

Continuação da tabela da página 173			
Gaia homeostática	A evolução de Gaia ocorre aos saltos. (A)	Atribuição de papéis a gases de origem biológica encontrados na atmosfera, como o metano (CH_4), óxido nítrico (NO_2), amônia (NH_3) etc.	Os registros geológicos mostram que, além da temperatura, outros fatores como a composição química da atmosfera e o pH apresentam uma estabilidade desde o surgimento da vida na Terra.
Gaia otimizadora	Desenvolvimento do modelo do mundo das margaridas. (A)	Participação dos gases iodeto de metila (CH_3I) e dimetil selênio ($\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}$), na transferência em massa de elementos essenciais entre a Terra e o mar.	A atmosfera da Terra é considerada anômala, quando comparada às atmosferas de Marte e Vênus.
Gaia teleológica	Desenvolvimento de outros modelos geofisiológicos, com base no modelo do mundo das margaridas. (A)	Os microorganismos procarióticos desempenhariam o papel principal nos mecanismos de regulação planetária.	A constatação de que, caso não houvesse vida, o oxigênio e o nitrogênio iriam declinar em concentração até restarem apenas traços destes gases na atmosfera.

Continuação da tabela da página 173			
	Desenvolvimento de modelos envolvendo a existência de sistemas de auto-regulação planetária no Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico. (A)	Desenvolvimento de modelos para explicar o controle da temperatura, do pH, do potencial redox e da transferência de gases atmosféricos.	Verificação do papel do DMS liberado pelas algas na transferência de enxofre dos oceanos para a atmosfera, demonstrando-se atuação de organismos vivos no ciclo do enxofre.
		Especulações sobre a regulação dos ciclos do CO ₂ e O ₂ , ainda em fase inicial.	
		Suposições acerca de mecanismos de controle da salinidade dos oceanos envolvendo uma relação com sistemas biológicos.	
		Os CFCs estariam envolvidos no aquecimento planetário.	

A delimitação dos aspectos principais que caracterizam o programa de pesquisa Gaia consistiu em um dos objetivos desse trabalho. A observação das tabelas acima permite um rápido vislumbre da teoria Gaia e das principais modificações ao longo do seu desenvolvimento. A Tabela III apresenta algumas previsões novas derivadas da teoria Gaia

e a situação atual de seu teste empírico. Esta tabela mostra, de maneira dramática, a capacidade da teoria Gaia produzir previsões novas e testá-las.

ALGUMAS PREVISÕES NOVAS DERIVADAS DA TEORIA GAIA (de Lovelock [1991]2000, p. 26).

PREVISÃO E ANO	TESTE E RESULTADO
Que Marte não apresentava vida, a partir de evidências atmosféricas – 1968.	Missão Viking – 1977 Forte confirmação.
Que os organismos poderiam produzir componentes capazes de transferir elementos essenciais dos oceanos para as superfícies terrestres – 1971.	Sulfeto de dimetila (DMS) e iodeto de metila (CH_3I), ambos encontrados em 1973.
Que o clima pode ser regulado pelo controle do dióxido de carbono através de uma intensificação do intemperismo das rochas – 1981.	Os microorganismos aumentam fortemente o intemperismo das rochas – 1989.
Que a regulação do clima via controle da densidade de nuvens está ligada à emissão de DMS por algas – 1987.	Ainda em teste; evidências de que a cobertura de nuvens oceânica corresponde geograficamente à distribuição de algas.
Que o oxigênio tem mantido-se em $21 \pm 5\%$ pelos últimos 350 milhões de anos – 1973.	Modelos plausíveis da regulação do oxigênio.
Que a química atmosférica do Arqueano era dominada por metano – 1988.	Geralmente aceita como uma hipótese em trabalho (<i>working hypothesis</i>).
A vida intensifica fortemente a ciclagem dos elementos nutrientes – 1973.	Amplamente confirmada.
A vida regula o equilíbrio dos nutrientes nos oceanos – 1958.	Uma previsão pré-Gaiana, agora é parte da sabedoria convencional.

Capítulo IV

Conclusão

Esse trabalho de dissertação partiu da seguinte questão de pesquisa: a teoria Gaia pode ser considerada científica de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos? Os resultados obtidos propiciaram uma melhor compreensão das características da teoria Gaia e da possibilidade de esta ser considerada científica, segundo a metodologia dos

programas de pesquisa de Lakatos, como também de aspectos relacionados à atual situação de crise ambiental em que se encontra o planeta Terra. Em particular, é possível destacar-se, com base na teoria Gaia, a influência da espécie humana sobre o agravamento observado nesta situação de crise nos últimos quarenta anos. A teoria Gaia implica um entendimento do papel do ser humano não como um mero habitante da Terra, como um astronauta que habita a ‘espaçonave Terra’, mas como um organismo vivo que, assim como todos os outros organismos faz parte da dinâmica da Terra e de Gaia. A atual ignorância da espécie humana a respeito dos mecanismos envolvidos nos processos dinâmicos de interação da biosfera com os fatores físico-químicos implica, na compreensão de Lovelock, uma incapacidade de agir como algum tipo de ‘administrador’ do planeta, tal como a nossa espécie tem entendido a si mesma e realmente agido, desde há muito tempo.

A teoria Gaia também deixa evidente a visão antropocêntrica que ainda se mostra dominante e a necessidade de uma maior consciência de que nós, os seres humanos, somos apenas mais uma parte envolvida na dinâmica planetária.

A teoria Gaia tem despertado desde a década de 1970 uma reação entusiástica de grupos ambientalistas e espiritualistas. Mais recentemente, a resistência a esta teoria na comunidade científica foi em parte vencida e uma quantidade crescente de pesquisadores de diversos campos do conhecimento tem dedicado-se à sua articulação teórica e ao teste empírico de suas implicações. Não causa espanto, assim, que alguns autores tenham proposto, nos últimos anos, o uso da teoria Gaia no contexto escolar (Baker, 1993; McGuire, 1993; Haigh, 2001. Ver tb. Johnson, 1983). Livros didáticos de Biologia do ensino médio publicados no Brasil já têm dedicado seções específicas à discussão desta teoria (*e.g.* Amabis & Martho, 1997; Marczwski & Vélez, 1999) (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

Tem-se argumentado que a teoria Gaia oferece uma nova maneira de olhar a Terra (Lovelock 1991a, p. 41, 1993, p. 10; Capra 1996, p.106), contribuindo para a promoção de uma conscientização ecológica nos estudantes. Lovelock (in: Spowers 2000, p. 27) afirma que a teoria Gaia tem fortes implicações morais, na medida em que “uma das leis de Gaia é a de que qualquer espécie que prejudica seu ambiente o torna pior para sua progênie. Portanto, se ela continuar a fazer isso, será extinta. Inversamente, qualquer espécie que torna seu ambiente melhor para sua progênie tem uma vantagem” (ver também Lovelock

1997). Desse modo, esta teoria pode cumprir um papel importante no tratamento do tema transversal “meio ambiente” (MEC/SEF 1998, 1999), desde que sua situação no conhecimento escolar seja claramente demarcada, estabelecendo-se seu estatuto como conteúdo transposto do conhecimento científico aceito (Lima-Tavares & El-Hani, 2001)..

Lovelock (in: Spowers 2000, p.27) afirma que sua teoria tem sido ensinada na Grã-Bretanha no nível universitário, mas como ‘ciência dos sistemas terrestres’ ou Biogeoquímica, e não como teoria Gaia. Ele atribui esta situação a um suposto temor que sua teoria despertaria pelo fato de reunir muitas disciplinas diferentes. Observa-se, contudo, uma demanda por abordagens interdisciplinares dos fenômenos naturais tanto na pesquisa científica como no ensino das mais diversas ciências, como reconhece o próprio Lovelock (1993, p. 3), de modo que a reunião de muitas disciplinas não pareceria ser um empecilho, mas antes uma das razões para transpor-se a teoria Gaia para o conhecimento escolar. Afinal, no que diz respeito à interdisciplinaridade, não faz muita diferença falar-se em *Biogeoquímica*, como o próprio termo indica, ou em teoria Gaia. É razoável, então, reconhecer-se outros motivos, além daquele indicado por Lovelock, para uma resistência à transposição didática da teoria Gaia, merecendo destaque sua natureza controversa na própria comunidade científica e, consequentemente, o problema de sua científicidade, discutido neste trabalho (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

A constatação de que a teoria Gaia é considerada científica de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos, nos leva a adotar uma posição em defesa da transposição didática da teoria Gaia para o ensino de Biologia, visto que torna-se possível evitar que ocorra uma confusão entre explicações científicas de fenômenos como a regulação do clima e da composição atmosférica da Terra e proposições não-científicas. É possível demarcar a teoria Gaia como científica no âmbito do conhecimento escolar. Em nossa visão, o conhecimento escolar na área das ciências tem como parâmetro necessário o conhecimento aceito de maneira consensual pela comunidade científica de uma dada época, a partir do qual será feita a transposição de conceitos, teorias, hipóteses etc. para o contexto das escolas.

A idéia de que o conhecimento científico consensual é uma base necessária do conhecimento escolar na área das ciências está relacionada à tese de que o sistema didático, incluindo o saber ensinado, não é produto apenas da vontade dos docentes. Um dos

requisitos para o funcionamento do sistema didático é o de que o saber ensinado satisfaça certos critérios específicos. Defendemos que um dos critérios que não pode ser perdido de vista, no ensino de qualquer ciência, é o da coerência entre o saber ensinado e o conhecimento estabelecido num dado campo do conhecimento científico, numa dada época. A questão da adequação do saber ensinado sempre se coloca e um dos critérios para julgar-se esta adequação reside, em nossa visão, em sua coerência com o conhecimento científico estabelecido. Não é concebível, da perspectiva em que compreendemos o ensino das ciências, que o saber ensinado, mesmo considerando-se sua necessária diferença relativamente ao saber sábio, não guarde uma relação significativa com o conhecimento científico estabelecido. Afinal, é desta relação que o saber ensinado deriva uma parte importante de sua legitimidade. O saber ensinado deve ser suficientemente próximo do saber sábio, de modo a não ser desautorizado por aqueles envolvidos na produção deste último, o que minaria a legitimidade do projeto social de seu ensino (Chevallard 1991, p. 30); (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

A teoria Gaia poderia desempenhar um papel relevante no ensino médio e superior de Biologia. Ela poderia constituir, por exemplo, uma das bases para a construção de uma abordagem menos fragmentada do conhecimento biológico e até do conhecimento científico em termos mais gerais. A visão sistêmica do planeta que ela suscita torna possível reunir a Geologia, a Microbiologia, a Química Atmosférica, a Biologia Evolutiva, a Ecologia e outras ciências numa abordagem integrada de uma série de fenômenos naturais. Pode-se conceber, por exemplo, a perspectiva de uma integração, nos termos dessa teoria, da compreensão dos vários ciclos biogeoquímicos numa visão única sobre o sistema cibernetico de controle do ambiente físico-químico pela biota. Ou a possibilidade de uma inter-relação mais íntima do estudo de teias tróficas com conteúdos concernentes a fatores abióticos como o clima e a temperatura. O próprio Lovelock indica essa possibilidade, ao comentar que sua teoria concebe a biota e as rochas, o ar e os oceanos como sistemas fortemente conjugados, que evoluem por um processo único, e não por vários processos separados, estudados em diferentes prédios das universidades (Lovelock 1997, p. 621). De maneira similar, Baker (1993) considera que o emprego da teoria Gaia no ensino de Biologia pode enfatizar a natureza interdisciplinar da ciência e propiciar uma perspectiva planetária da Biologia. As implicações da visão sistêmica decorrente da teoria Gaia para a

compreensão da Biologia e de outras ciências também são destacadas por Capra (1996) (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

No ensino de evolução, a teoria Gaia poderia oferecer uma oportunidade para a transposição didática da apreciação crítica do conceito de ‘adaptação’ que tem sido elaborada por biólogos evolutivos como Lewontin (1977[1985], 1983[1985], 2000) e Gould (Gould & Lewontin 1978, Gould 2002). Este conceito implica, na visão destes autores, a concepção de que os organismos se adaptam a um mundo externo mutável, que não é influenciado por eles, mas apenas coloca problemas que os organismos resolvem por meio da evolução. No entanto, o ambiente de um organismo não é, em termos causais, independente dele. Os organismos influenciam o ambiente em que vivem de diversas maneiras. A afirmação de que as mudanças ambientais são autônomas e independentes das mudanças sofridas pelas próprias espécies é, como afirma Lewontin (2000, p. 48), ‘biologia ruim’, e qualquer ecólogo ou biólogo evolutivo sabe muito bem disso. Apesar de ter sido um importante instrumento heurístico na construção da teoria da evolução, o conceito de ‘adaptação’ é criticado por estes autores por veicular a idéia de que os organismos são objetos passivos de forças internas (genéticas) e externas (ambientais) autônomas. Lovelock afirma, de maneira similar, que considera a ‘adaptação’ uma noção dúbia, porque “no mundo real, o ambiente ao qual os organismos estão adaptando-se é determinado pelas atividades de seus vizinhos, e não somente pelas forças cegas da química e física. Em tal mundo, mudar o ambiente é parte do jogo da sobrevivência, e seria absurdo supor que os organismos iriam abster-se de mudar seu ambiente material se, fazendo isso, deixassem mais progénie” (Lovelock 1991a, p.32) (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

Os biólogos evolutivos que têm criticado a teoria neodarwinista da evolução usualmente não pretendem pôr de lado a noção de seleção natural, mas questionar alguns aspectos que, em sua visão, requerem reformulação, tais como: a idéia de que a seleção natural é um processo que atua em um único nível, na formulação original de Darwin, o do organismo, e no selecionismo gênico, o dos genes; a compreensão da seleção natural como o único processo responsável pelos padrões de mudança evolutiva, de modo que todo o poder explicativo na biologia evolutiva deveria ser atribuído a ela; a visão gradualista da evolução, de acordo com a qual todos os processos macro-evolutivos, que produzem os grandes padrões da história da vida, são simplesmente consequências de processos micro-

evolutivos (Gould 2002). Não se trata de defender uma refutação da teoria darwinista e sua substituição por uma teoria evolutiva inteiramente nova (o que seria uma espécie de mudança paradigmática kuhniana), mas de propor-se adições e reformulações que, sobre fundações darwinistas, resultem numa teoria diferente, em aspectos significativos, da síntese neodarwinista que tem dominado a biologia evolutiva desde a década de 1940, mas não a ponto de abandonar-se o núcleo selecionista do pensamento evolucionista (algo mais próximo da construção de uma nova teoria dentro de um programa de pesquisa lakatosiano). O que parece estar em elaboração no presente é uma nova teoria darwinista da evolução, incluindo vários níveis de seleção, reconhecendo o poder explicativo de outros fatores envolvidos na evolução, como as restrições ao processo evolutivo, e descrevendo processos macro-evolutivos que não são apenas uma extração da micro-evolução (Gould 2002) (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

De maneira similar, Lovelock entende a teoria Gaia não como uma alternativa incompatível com a tradição darwinista, mas como um complemento, na medida em que trata da relação entre o sucesso evolutivo dos organismos e a ocorrência de um acoplamento adequado entre sua evolução e a evolução de seu ambiente material (Lovelock 1990, p. 101; 1991a, p. 41; 1991b, p. 99; 1993 p. 10; 1997 p. 621). Em sua visão, Gaia torna possível unificar duas teorias diferentes da evolução, a biológica e a geológica, que têm coexistido separadamente desde o final do século XIX (Lovelock 1991a, pp. 31-33). Nesses termos, a teoria Gaia pode mostrar-se heuristicamente fértil para as discussões contemporâneas sobre evolução, inclusive na sala de aula, desde que a relação entre o acoplamento de vida e ambiente postulado por ela e o sucesso evolutivo dos organismos seja formulada de maneira clara (Lima-Tavares & El-Hani, 2001).

Neste trabalho de análise da científicidade da teoria Gaia como um programa de pesquisa lakatosiano, foi possível, a partir da leitura da obra de James Lovelock, desde os artigos em que teriam surgido as primeiras evidências da teoria Gaia a partir da década de 1960, até a publicação do seu mais recente livro no ano de 2001, verificar os principais pontos que caracterizam esta teoria como um programa de pesquisa progressivo e, consequentemente, científico, de acordo com o critério de demarcação proposto por Lovelock. Essa análise possibilitou verificar: (1) as mudanças estruturais que a teoria Gaia sofreu ao longo de sua história; (2) a restrição de tais mudanças ao cinturão protetor da

teoria Gaia, com o núcleo duro sendo mantido durante todo o seu desenvolvimento como programa de pesquisa; (3) as principais modificações teóricas no cinturão protetor da teoria ; (4) a existência de conteúdo empírico na teoria Gaia, com a obtenção de previsões novas a partir dela e a corroboração de parte dessas previsões a partir de estudos realizados por Lovelock com diferentes colaboradores. A partir desses resultados, concluímos que a teoria Gaia, de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos, constitui um programa de pesquisa progressivo tanto em termos teóricos quanto empíricos, devendo ser considerada um programa de pesquisa científica. Ao considerarmos Gaia como uma teoria científica, não estamos afirmando que se trata de uma teoria inquestionável e completamente corroborada em seus aspectos empíricos e teóricos. Trata-se apenas de demarcá-la como uma teoria científica, que deve, portanto, ser discutida e testada pela comunidade científica. A científicidade da teoria Gaia é reforçada, ainda, pela constatação de que ela tem sido reconhecida como teoria científica e servido como referencial heurístico para quantidades crescentes de pesquisadores. Segundo Lovelock (2001), a visão dos cientistas sobre o planeta Terra já teria mudado profundamente desde o desenvolvimento da teoria Gaia. Atualmente, afirma ele, são poucos os cientistas que duvidam de que o clima e a composição química da superfície da Terra são acoplados aos organismos que a habitam (Lovelock, 2001, p. 277-278). O cientista alemão John Schellnhuber (citado por Lovelock, 2001, p. 277), de uma maneira que pode ser considerada exagerada, chegou a comparar essa mudança da visão sobre a Terra a uma nova revolução copernicana. De maneira similar, os centros de pesquisas climáticas, que antes desprezavam a idéia da vida afetando o clima, agora sabem que eles devem incluir os organismos da terra e dos oceanos em seus modelos. Os geólogos agora também aceitariam que a destruição de rochas continentais pelo intemperismo é muito mais um assunto de digestão bacteriana e por plantas do que um processo meramente físico e químico. Lovelock, no entanto, argumenta que, apesar das mudanças constatadas na ciência com o desenvolvimento da teoria Gaia, apenas uma pequena minoria dos cientistas percebe o quanto Gaia os teria auxiliado nesta mudança de visão. Segundo ele, muitos cientistas teriam adotado sua visão radical da Terra sem reconhecer de onde ela veio e teriam esquecido o desdém com o qual a maioria deles recebeu pela primeira vez a idéia de uma Terra auto-reguladora (Lovelock, [2000]2001, pp. 277-278). Ainda segundo Lovelock,

atualmente os críticos de Gaia estão começando a admitir que podem estar errados, mas eles ainda consideram a idéia de auto-regulação e o fenômeno da emergência obscuros. No entanto, Lovelock afirma que, mesmo questionando idéias cruciais para a compreensão da teoria Gaia, esses cientistas vêm utilizando essas idéias em seus projetos de climatologia e biogeoquímica. Uma questão que permanece é que, segundo Lovelock, os críticos têm o direito de fazer é a seguinte: Se a Terra é mesmo auto-reguladora, como a seleção natural poderia ter produzido os mecanismos de auto-regulação por meio de alças de retroalimentação que a teoria Gaia postula? Para ele, sua inabilidade em responder a esta pergunta é comparável à inabilidade de Darwin em satisfazer os críticos de sua época que viam a incrível perfeição dos olhos como algo que jamais poderia ter surgido por seleção natural (Lovelock, [2000]2001, pp. 278). Lovelock também utiliza a teoria de Darwin como referência quando comenta que um dos seus maiores desejos, ao desenvolver Gaia, era o de que esta teoria algum dia fosse ao menos descrita como Popper descreveu a teoria da evolução, meramente um programa de pesquisa em metafísica (Lovelock, [2000]2001, p.272). O que o nosso trabalho mostra é que, ao menos, a teoria Gaia pode ser considerada um programa de pesquisa lakatosiano.

Para finalizar este trabalho, nada mais interessante do que verificar como Lovelock, o proponente e incansável divulgador e defensor da teoria Gaia, acredita que sua teoria tem sido julgada atualmente, mais de trinta e cinco anos depois de que ele a formulou pela primeira vez:

“Trinta e cinco anos se passaram desde o começo de Gaia, aquela tarde surpreendente nos Laboratórios de Propulsão a Jato, quando ela cintilou em minha mente. Escrevendo em 1999, eu vejo que a teoria de uma Terra auto-reguladora, capaz de manter o clima e a química sempre toleráveis para os seus habitantes, está movendo-se rumo à aceitação como parte da sabedoria científica convencional. Se eles devem rejeitar Gaia como o nome de sua nova ciência, eu espero que eles escolham ‘Ciência do Sistema Terrestre’ como uma alternativa razoável. Não importa como eles a chamem, se eu estiver certo sobre a capacidade da Terra de regular o planeta, a ciência deve começar a levar isso a sério logo, ou pode acontecer o pior para todos nós. A medida que nós descobrimos processos por meio dos quais a vida e o clima interagem, muitos deles parecem agir como amplificadores do aquecimento global. Teóricos de Gaia reflexivos sugerem que, no atual calor interglacial, as forças naturais

aumentam, em vez de aliviar, o aquecimento global que nós produzimos” (Lovelock, [2000]2001, p.279).¹¹⁷

¹¹⁷ “It is thirty-five years since Gaia’s inception, that startling afternoon at the Jet Propulsion Laboratories, when it flashed into my mind. Writing in 1999 I see that the theory of a self regulating Earth, able to maintain climate and chemistry always tolerable for its inhabitants, is moving into acceptance as part of scientific conventional wisdom. If they must reject Gaia as the name of their new science I hope that they will choose ‘Earth System Science’ as a sensible alternative. Whatever they call it, if I am right about the Earth’s capacity to regulate the planet, science must soon begin to take it seriously, or it may be the worse for all of us. As we discover processes by which life and the climate interacts, many of them seem to act as amplifiers of global warming. Thoughtful Gaia theorists suggests that in the present interglacial warmth natural forces increase, rather than ameliorate the global warming that we have brought about” (Lovelock, [2000]2001, p.279).

Referências:

- ABRANTES, P. Simulação e realidade. **Revista Colombiana de Filosofia da Ciência** Vol. 1, n° 1, pp.9-40. 1999.
- ALLABY, M.; LOVELOCK, J. E. Controversy buried. **Nature**. vol. 285. n° 5767. p. 610. 1980a.
- ALLABY, M.; LOVELOCK, J. E. Spray Cans - The Threat That Never Was. **New Scientis**. vol.87 . n° 1210. pp. 212-214. 1980b.
- AMABIS, J. M. & MARTHO, G. R. **Fundamentos de Biologia Moderna**. São Paulo: Moderna. 1997.
- BAKER, G. A. Using the Gaia hypothesis to synthetize an introductory biology course. **American Biology Teacher**. vol. 55. n° 2. pp. 115-116. 1993.
- BRADIE, M. Science and Metaphor. **Biology and Philosophy**. vol 14. pp. 159-166. 1999.
- CAMPBELL, N. A. **Biology**. San Francisco: Benjamin/Cummings. 1996.
- CAPRA, F. **The Web of Life**. New York: Anchor Books. 1996.
- CHALMERS, A . F. **O Que é Ciência Afinal?** São Paulo: Brasiliense. [1982]1997
- CHARLSON, R. J.; LOVELOCK, J. E.; ANDREAE, M. O.; WARREN, S. G. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloyd albedo and climate. **Nature**. vol. 326. n° 6114. pp. 655-661. 1987.
- CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado**. Buenos Aires: Aique. 1991.
- CONACHER, A Review Essay: Changing Environmentalism. **Australian Geographer**. vol. 23. n° 2. 1992.
- DAWKINS, R. **O Gene Egoísta**. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP. 1979.
- El-Hani, C. N. & Emmeche, C. On Some Theoretical Grounds for an Organism-Centered Biology: Property Emergence, Supervenience, and Downward Causation. **Theory in Biosciences (Theorie in den Biowissenschaften)**. vol. 119. n° 3-4. pp. 234-275. 2000.
- EL-HANI, C.N; PEREIRA, M.A. Notas sobre percepção e interpretação em ciência. **São Paulo: USP**. n°. 49. pp. 148-159. 2001.
- EL-HANI, C.N.; LIMA-TAVARES, M.. A Terra é Viva? Hipótese Gaia e Definições de Vida. in. **Epistemologia Lógica e Ensaio da Linguagem**. Universidade estadual de Feira de Santana – Núcleo interdisciplinar de estudos e pesquisas em filosofia. 2001.
- EMMECHE, C. **Defining Life, Explaining Emergence**. On-line paper: <http://www.nbi.dk/~emmeche/> (1997). (Publicado também em duas partes como: EMMECHE, C. (1997). Autopoietic systems, replicators, and the search for a meaningful biologic definition of life. **Ultimate Reality and Meaning**, 20(4):244-264; EMMECHE, C. (1998). Defining life as a semiotic phenomenon. **Cybernetics & Human Knowing**, 5(1):3-17).
- EMMECHE, C. & EL-HANI, C. N. **Definindo Vida, Explicando Emergência**. Série Ciência e Memória, CNPQ/Observatório Nacional, Coordenação de Informação e Documentação. N. 2/99, 1999.
- EMMECHE, C. & EL-HANI, C. N. 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. pp. 31-56. 2000.
- FEYRABEND, P. **Consolando o Especialista**. in: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: Cultrix. 1979.

- FLEISCHAKER, G. R. Autopoiesis: The status of its systems logic. **BioSystems**, vol 22, pp. 37-49. 1988.
- GOULD, S. J. & LEWONTIN, R. C. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme. **Proceedings of the Royal Society of London**, vol. 205. pp. 581-598. 1978.
- GOULD, S. J. **The Structure of Evolutionary Theory**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 2002.
- HAIGH, M. J. Constructing Gaia: Using journals to foster reflective learning. **Journal of Geography in Higher Education**, . vol 25. n° 2. pp 167-189. 2001.
- HARDING, S. P. LOVELOCK, J. E. Exploiter-mediated coexistence and frequency-dependent selection in a numerical model of biodiversity. **Journal of Theoretical Biology**. vol 182. pp. 109-116. 1996.
- HULL, D.L. **Darwin and his critics**. Chicago: The University of Chicago Press. 1973.
- HULL, D. L. Units of evolution: A metaphysical essay, in: JENSEN, U. J. & HARRÉ, R. (Eds.). **The Philosophy of Evolution**. New York: St. Martin's Press. 1981.
- JOHNSON, P. Connecting Patterns through Environmental Education. **Educational Leadership**. vol. 40, n. 7, pp. 40-44, 1983.
- KIRCHNER, J. W. The Gaia hypothesis: Can it be tested? **Reviews of Geophysics**, vol. 27. n° 2. pp. 223-235. 1989.
- KIRCHNER, J.W. The Gaia Hypothesis: Are they Testable? Are they Useful? in. SCHNEIDER, S. H.& BOSTON, P. J. **Scientists on Gaia**. Cambridge-MA/MIT Press.1993.
- KUMP, L. R.; VOLK, T. Gaia's Garden and BLAG's Greenhouse: Global Biogeochemical Clima Regulation. in. SCHNEIDER, S. H.& BOSTON, P. J. **Scientists on Gaia**. Cambridge-MA:MIT Press.1993.
- LAKATOS, I. **The Methodology of Scientific Research Programmes Philosophical Papers Volume I**. Edited by John Worrall and Gregory Currie. Cambridge: Cambridge University Press. [1978]1995.
- LAKATOS, I. **Mathematics Science and Epistemology Philosophical Papers Volume II**. Edited by John Worrall and Gregory Currie. Cambridge: Cambridge University Press. [1978]1987.
- LAKATOS, I.; FEYRABEND, P. **For and Against Method**. Edited and with an introduction by Matteo Motterlini. Chicago & London: University of Chicago Press. 1999.
- LARVOR, B. **Lakatos as Introduction**. London and New York: Routledge. 1998.
- LENTON, T. M.; LOVELOCK, J. E. Daisyworld is Darwinian: Constraints on adaptation are important for planetary self-regulation. **Journal of Theoretical Biology**. vol 206. pp. 109-114. 2000.
- LENTON, T. M.; LOVELOCK, J. E. Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation. **Tellus**. vol. 53B. n°. 3, pp. 288-305. 2001.
- LEWONTIN, R. Adaptation, in: LEVINS, R. & LEWONTIN, R. **The Dialectical Biologist**. Cambridge-MA: Harvard University Press. pp. 65-84. [1977]1985.
- LEWONTIN, R. The organism as the subject and object of evolution, in: LEVINS, R. & LEWONTIN, R. **The Dialectical Biologist**. Cambridge-MA: Harvard University Press. pp. 85-106. [1983]1985.
- LEWONTIN, R. **The Triple Helix: Gene, Organism, and Environment**. Cambridge-MA: Harvard University Press. 2000.

- LIMA-TAVARES, M. **A Terra é Viva? Hipótese Gaia e Definições de Vida.** Salvador: IB-UFBA. Monografia de Bacharelado. 2000.
- LIMA-TAVARES, M.; EL-HANI, C.N. Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da teoria Gaia. **Investigações em ensino de ciências.** vol.6, n°. 3, dezembro/2001.
- LOVELOCK J. E. Affinity Of Organic Compounds For Free Electrons With Thermal Energy - Its Possible Significance In Biology. **Nature.** vol.189. n° 4766. pp. 729-731. 1961.
- LOVELOCK, J.E. A Physical Basis for Life Detection Experiments. **Nature.** vol. 207. n° 4997. pp. 568-570. 1965.
- LOVELOCK, J.E. Letter to the Editors – Gaia as seen through the atmosphere. **Atmospheric Environment Pergamon Press.** vol. 6. pp. 579-580. 1972.
- LOVELOCK, J.E. Atmospheric halocarbons and stratospheric ozone. **Nature** vol 252. n° 5481. pp- 292-294.1974a.
- LOVELOCK, J.E. PAN over the Atlantic and the smell of clean linen. **Nature.** vol 249. n° 5456, p.434. 1974b.
- LOVELOCK, J.E. Thermodynamics and the recognition of alien biospheres. **Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences.** vol. 189. pp. 167-181. 1975a.
- LOVELOCK, J.E. Natural halocarbons in the air and in the sea. **Nature.** vol. 256. pp. 193-194. 1975b.
- LOVELOCK, J.E. The electron capture detector – a personal odyssey. **Chemtech.** 1981.
- LOVELOCK, J.E. From Gas Chromatography to Gaia. **Chromatographia.** vol. 16. 1982.
- LOVELOCK, J.E. An expedition to the days when it began. **New Scientist.** vol. 102. n° 1405. pp. 37-38. 1984.
- LOVELOCK, J.E. Are we destabilising world climate? The lessons of geophysiology. **The Ecologist.** vol. 15. n°1/2. pp- 52-55. 1985.
- LOVELOCK, J. E. Gaia: the world as a living organism. **New Scientist.** vol. 112. n° 1539. pp. 25-28. 1986b.
- LOVELOCK, J.E. Geophysiology: A New Look at Earth Science. **Bulletin American Meteorological Society.** vol. 67. n° 4. 1986.
- LOVELOCK, J.E. Gaia's complaint: a practitioner of planetary medicine examines the Earth. **Speculations in Science and Tecnology.** vol. 11. n° 4. pp- 265-272. 1988.
- LOVELOCK, J.E. Geophysiology, the science of Gaia. vol. 27. n° 2. pp. 215-222. 1989.
- LOVELOCK, J. E. Hands up for the Gaia hypothesis. **Nature.** vol. 344. pp.100-102. 1990.
- LOVELOCK, J. E. Gaia: A planetary emergent phenomenon, in: THOMPSON, W. I. **Gaia 2:Emergence – The New Science of Becoming.** New York: Lindsfarne Press. pp. 30-49. 1991a.
- LOVELOCK, J. E. **Healing Gaia: Practical Medicine for the Planet.** New York: Harmony Books. 1991b.
- LOVELOCK, J. E. Making Waves. **Sciences-New York.** vol. 31. n° 2. p. 5. 1991c.
- LOVELOCK, J. E. Geophysiology – The science of Gaia, in: SCHNEIDER, S. H.& BOSTON, P. J. **Scientists on Gaia.** Cambridge-MA:MIT Press. pp. 3-10. 1993.
- LOVELOCK, J. E. A Terra como um organismo vivo, in: WILSON, E. O. (Org.). **Biodiversidade.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira. pp. 619-623. 1997.
- LOVELOCK, J.E. **The Ages of Gaia: a Biography of our living Earth.** New York: W.W. Norton & Company, Inc. [1988]1995.

- LOVELOCK, J.E. **Gaia a New Look at Life on Earth**. Oxford: Oxford University Press. [1979] 2000.
- LOVELOCK, J.E. **Gaia the Practical Science of Planetary Medicine**. Oxford: Oxford University Press. [1991]2000.
- LOVELOCK, J.E. Gaia um Modelo para a Dinâmica Planetária e Celular, in: THOMPSON, W. I. (Org.). **Gaia uma Teoria do Conhecimento**.São Paulo: Editora Gaia Ltda. pp. 77-90. 2000.
- LOVELOCK, J.E. **Homage to Gaia the life of an independent scientist**. Oxford: Oxford University Press. 2001.
- LOVELOCK, J.E.; ZLATKIS, A.; BECKER, R.S. Affinity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Electrons with thermal energies: it's possible Significance in Carcinogenesis. **Nature**. vol. 198. n° 4815. pp. 540-541.1962.
- LOVELOCK, J.E.; SIMMONDS, P. G.; VANDENHEUVEL, W. J. A. Affinity of Steroids for electrons with thermal energies. **Nature**. vol. 197. n° 4864. pp. 249-251.1963.
- LOVELOCK JE.; HITCHCOCK.D. R. Detecting Planetary Life From Earth. **Science Journal**. vol. 3. n° 4. pp. 56-58. 1967.
- LOVELOCK, J.E; MAGGS, R. J; RASMUSSEN, R.A. Atmospheric Dimethyl Sulphide and the Natural Sulphur Cycle. **Nature**. vol. 237. pp. 452-453. 1972.
- LOVELOCK, J. E.; MAGGS, R.; WADE, R. J. Halogenated Hydrocarbons in and over the Atlantic. **Nature**. vol. 241. pp. 194-196. 1973.
- LOVELOCK, J. E.; MARGULIS, L. Atmospheric homoestasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. **Tellus** . vol. 26. n° 1-2. pp. 2-10. 1974.
- LOVELOCK, J. E.; MARGULIS, L. Is Mars a Spaceship too? **Natural History**. vol. 85. n°. 6. pp.86-90. 1976.
- LOVELOCK, J. E.; COX, R. A.; DERWENT, R. G.; EGGLETON, A. E. J. Photochemical oxidation of halocarbons in the troposphere. . **Atmospheric Environment**. vol. 10. pp. 305-308. 1976.
- LOVELOCK, J. E.; PACK, D. H.; COTTON, G.; CURTHOYS, C. Halocarbons behaviour from a long time series. **Atmospheric Environment**. vol. 11. pp. 329-344. 1977.
- LOVELOCK, J. E.; WATSON, A. J. The regulation or carbon dioxide ad climate: Gaia or geochemistry. **Planetary and Space Science**. vol. 30. n°. 8. pp. 795-802. 1982.
- LOVELOCK, J. E.; WATSON, A. J. The Regulation of Carbon Dioxide and Climate: Gaia or Geochemistry. **Pergamon Press Ltd**. vol. 30. n°. 8. pp. 795-802. 1982.
- LOVELOCK, J. E.; Whitfield, M. Life span of the biosphere. **Nature**. vol. 296. n° 5857. pp. 561-563. 1982.
- MARCZWSKI, M.& VÉLEZ, E. **Ciências Biológicas**. São Paulo: FTD. 1999.
- MARGULIS, L.; LOVELOCK, J. E. Atmospheric homoestasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. **Tellus** . vol. 26. n° 1-2. pp. 2-10. 1974a.
- MARGULIS, L.; LOVELOCK, J. E. Biological modulation of the atmosphere. **Icarus**. vol.21. pp. 471-489. 1974.
- MARGULIS, L.; LOVELOCK, J. E. The Biota as an Ancient and Modern Modulator of the Earth Atmosphere. **Pure and Applied Geophysics**. vol. 116. pp. 239-243. 1978.
- MARGULIS, L.; SAGAN, D. **Microcosmos**. New York: Summit.1986.
- MAYNARD SMITH, J. **Los Problemas de la Biología**. Madrid: Catedra. 1986.
- MAYR, E. **The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance**. Cambridge-MA: The Belknap Press of Harvard University Press. 1982.

- MAYR, E. **Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist.** Cambridge-MA: Harvard University Press. 1988.
- MCGUIRE, T. The Gaia nineties. Is it time to re-evaluate this controversial theory? **Science Teacher**, vol. 60. n° 6. pp.30-35. 1993.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Primeiro e Segundo Ciclos: Apresentação dos Temas Transversais.** Brasília: MEC/SEF. 1998.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Terceiro e Quarto Ciclos: Apresentação dos Temas Transversais.** Brasília: MEC/SEF. 1999.
- POPPER, K. **Objective Knowledge An Evolution Approach.** Oxford: Clarendon Press. [1972]1979.
- POPPER, K. **A Lógica da Pesquisa Científica.** São Paulo: Cultrix LTDA. [1959]1993.
- ROBERTSON, D.; ROBINSON, J. Darwinian Daysiworld. **Journal of Theoretical Biology.** Vol. 195. pp. 129-134. 1998.
- ROCHA, P. L. B. & EL-HANI, C. N. The description of the evolutionary process as a metaphor of phylogenetic systematics. **Journal of Comparative Biology** 1(1/2), pp.17-28. 1996.
- ROWLAND, F. S.; MOLINA,M. J.; CHOU, C. C. Natural halocarbons in air and sea. **Nature.** vol. 258. pp. 775-776. 1975.
- SCHNEIDER, S. H.; BOSTON, P. J. Preface, in: **Scientists on Gaia.** Cambridge MA:MIT Press. pp. XXIII-XV. 1993.
- SCHNEIDER, E. D.; KAY, J. J. Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica. in. MURPHY, M. P.; O'NEILL, L. A. J. **O que é vida 50 anos depois: especulações sobre o futuro da biologia.** São Paulo: Editora UNESP. 1997.
- SILVEIRA BUENO, F. **Minidicionário da língua portuguesa.** São Paulo: FTD. 2000.
- SIMBERLOFF, D. A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism. **Synthese**, vol. 43, pp. 3-39. 1980.
- SPOWERS, R.. Living planet (Interview with James Lovelock). **Geographical**, pp.25-27. 2000.
- STEREONY, K. **Dawkins vs. Gould: Survival of the Fittest.** Cambridge: Icon Books. 2001.
- TAYLOR, C. **The Explanation of Behaviour.** London: Routledge & Kegan Paul. 1964.
- VAN DER WEELE, C. **Images of development: Environmental causes in ontogeny.** Amsterdam, Vrije Universiteit. 1995.
- WATSON, A. J.; LOVELOCK, J. E. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. **Tellus.** vol 35B, n°. 4. pp. 284-289. 1983.
- Web Dictionary of Cybernetics and Systems.** disponível em <http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/CYBERNETICS.html>. Acesso em 12 dez. 2002.
- ZLATKIS, A; LOVELOCK, J. E. Affinity of Organic Compounds of free electrons with thermal energies. **Clinical Chemistry.** Cap. 11. fascículo 2. suplemento 2. pp. 259-269. 1965.