GAIA, TELEOLOGIA E FUNÇÃO

Nei Freitas Nunes Neto[*] *e Charbel Niño El-Hani*[**]

RESUMO

Neste artigo, discutimos o papel das explicações teleológicas na teoria Gaia. Mostramos que seu principal proponente, James Lovelock, pretende evitá-las devido a uma interpretação equivocada da natureza de tais explicações. Na tentativa de evitar compromissos com a teleologia, Lovelock recorre ao conceito de propriedades emergentes. Esta não é, contudo, uma saída consistente, porque os conceitos de propriedades emergentes e teleologia não são mutuamente excludentes. Discutimos também as dificuldades de uma interpretação de Gaia de uma perspectiva teleonômica, considerando problemas como o da noção de superorganismo. Para avaliar o estatuto das explicações teleológicas em Gaia, examinamos o caso da interação entre algas e nuvens, que resultou num novo campo de pesquisas e expõe as contribuições teóricas e empíricas que Gaia pode oferecer. Com base nos argumentos apresentados ao longo do artigo, sugerimos uma reorganização da estrutura do programa de pesquisa Gaia, visando à continuação de seu progresso teórico e empírico.
Palavras-chave: Gaia; teleologia; teleonomia; emergência; explicação funcional.

GAIA, TELEOLOGY, AND FUNCTION

In this paper, we discuss the role of teleological explanations in Gaia theory. We show that its main proponent, James Lovelock, intends to avoid them due to a misinterpretation of the nature of teleological explanations. In order to avoid a commitment to teleology, Lovelock appeals to the concept of emergent properties. This is not a consistent solution, however, since

[*] Programa de Pós-Graduação em Ensino, História e Filosofia das Ciências/UFBA-UEFS. Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. *E-mail: neineto@ufba.br*

[**] Professor Adjunto, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, IB-UFBA. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências/UFBA-UEFS. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento/UFBA. Bolsista de produtividade em pesquisa, CNPq. *E-mail: charbel@ufba.br*

the concepts of emergent properties and teleology are not mutually exclusive. We also discuss difficulties in an interpretation of Gaia from a teleonomic perspective, discussing problems such as that of the notion of superorganism. In order to appraise the status of teleological explanations in Gaia, we examine the case of the interaction between algae and clouds, which gave birth to a new research field and show the theoretical and empirical contributions that Gaia can bring. Based on the arguments developed in the paper, we suggest a reorganization of the structure of Gaia research program, in order to go on with its theoretical and empirical progress.
Key words: Gaia; teleology; teleonomy; emergence; functional explanation.

INTRODUÇÃO

A teoria Gaia foi proposta à comunidade científica em 1972, pelo cientista inglês James Ephraim Lovelock, o qual tem-se dedicado a desenvolvê-la desde então, em parceria com pesquisadores de diversos campos do conhecimento. A colaboração com a microbiologista norte-americana, Lynn Margulis, foi decisiva para o desenvolvimento da teoria, sobretudo em seus estágios iniciais. No ano de 1974, a teoria Gaia foi exposta em maiores detalhes por Lovelock e Margulis em artigos publicados em *Tellus* (LOVELOCK e MARGULIS, 1974) e *Icarus* (MARGULIS e LOVELOCK, 1974). A idéia básica dessa teoria é a de que a biosfera pode ser concebida como um sistema adaptativo de controle, capaz de manter as características físico-químicas da Terra em homeostase. Os mecanismos de controle postulados são baseados em alças de retroalimentação (*feedback loops*) nas quais sistemas vivos estão envolvidos de maneira fundamental. Esses processos de retroalimentação supostamente resultariam na auto-regulação do sistema vida-ambiente em nosso planeta.

A idéia de que esses mecanismos de controle, quando tomados em conjunto, constituiriam um processo de auto-regulação está relacionada ao postulado, no corpo dessa teoria, de uma entidade planetária denominada Gaia, que corresponderia ao planeta Terra.[1] Essa entidade corresponderia a um sistema

[1] Nas primeiras apresentações da Teoria Gaia, Lovelock utilizava 'biosfera' e 'Gaia' como sinônimos. Posteriormente, entre fins da década de 1970 e início da de 1980, ele passou a distinguir de modo mais claro entre a biosfera (a parte viva de Gaia, de acordo com ele) e a entidade Gaia. A partir deste ponto, Lovelock passou a oscilar entre a concepção de Gaia como sinônimo de Terra e como o conjunto formado pela biosfera, atmosfera, oceanos, rochas e solos, constituindo assim um sistema que se localizaria na Terra. Por vezes, ele parece admitir

complexo, que seria maior do que a soma de suas partes e teria a capacidade de regular a si mesmo, de modo a manter um ambiente ótimo para um de seus constituintes, a biosfera.

A teoria Gaia tem despertado, desde seu surgimento, uma reação entusiástica de grupos ambientalistas e espiritualistas. Contudo, essa teoria enfrentou uma grande resistência da comunidade científica, chegando, inclusive, a ser citada como exemplo de anticiência ou pseudociência (*e.g.*, POSTGATE, 1988). Mais recentemente, essa resistência foi em parte vencida e uma quantidade crescente de pesquisadores de diversos campos do conhecimento vem dedicando-se à articulação teórica e ao teste empírico de previsões derivadas desta teoria. Uma reconstrução histórica do programa de pesquisa Gaia, incluindo uma discussão das razões pelas quais ela foi aceita por outros grupos sociais e recusada pela comunidade científica ao longo de quase duas décadas, é encontrada em Lima-Tavares (2003).[2]

A despeito de estar sendo cada vez mais aceita como uma teoria científica, pelo seu poder preditivo e heurístico (LIMA-TAVARES, 2003) e de estar sendo submetida a testes visando seu apoio empírico ou sua falsificação, não se pode perder de vista que a teoria Gaia ainda apresenta problemas teóricos importantes. O presente artigo trata de aspectos controversos relacionados ao estatuto das explicações teleológicas no corpo desta teoria. Estamos interessados, ainda, em discutir dificuldades enfrentadas pela tentativa de propor uma explicação teleonômica para os processos de regulação planetária propostos pela teoria Gaia. Entre essas dificuldades, destacamos aquelas relacionadas com a visão da Terra como um superorganismo, uma decorrência inevitável da idéia – bastante controversa – de que a Terra é um ser vivo (uma análise dessa idéia é encontrada em LIMA-TAVARES e EL-HANI, 2001; LIMA-TAVARES, 2003).

Nosso primeiro passo consistirá em uma breve discussão sobre explicações teleológicas na Biologia, com destaque para a perspectiva

---

ambas as definições. No presente trabalho, não faremos uma escolha entre estas duas formulações de Lovelock. Contudo, mais à frente, veremos que ambas implicam o problema da existência do superorganismo Gaia, já que há afirmações de Lovelock tratando a própria Terra como um superorganismo e outras tratando o superorganismo Gaia como o maior organismo *sobre* a Terra. Portanto, o uso ambíguo do termo por Lovelock não afetará nossos argumentos sobre este tema. Para uma discussão mais detalhada, ver Lima-Tavares (2003).

[2] Ao longo deste artigo, utilizaremos freqüentemente noções que têm origem na obra de Imre Lakatos. Embora não tenhamos espaço para tratar aqui da metodologia dos programas de pesquisa científica elaborada por este filósofo da ciência, este trabalho está situado numa linha de pesquisa de nosso grupo que vem utilizando essa teoria da ciência como base para a análise histórico-filosófica da teoria Gaia. Para maiores detalhes sobre o tratamento da teoria Gaia como um programa de pesquisa lakatosiano, ver Lima-Tavares (2003).

teleonômica. Em seguida, passaremos a discutir a situação das explicações teleológicas na teoria Gaia, focando nossa análise sobre o discurso de Lovelock. Procuraremos demonstrar que, apesar da rejeição de Lovelock, explicações teleológicas são postuladas na teoria Gaia e não podem ser evitadas, como ele pretende, por um recurso ao conceito de propriedades emergentes. No item seguinte, discutiremos se uma compreensão dos mecanismos propostos pela teoria Gaia baseada em explicações teleonômicas pode ser sustentada. Em seguida, avaliaremos as dificuldades provenientes da relação entre a noção de superorganismo e a teoria Gaia, sobretudo aquelas que dizem respeito à proposição metafísica de uma entidade planetária viva. No mesmo item, discutiremos alguns aspectos das relações entre Gaia e seleção natural. Na seqüência, procuraremos demonstrar o poder heurístico das explicações teleológicas, ou, mais precisamente, funcionais na teoria Gaia, através do caso do sulfeto de dimetila [$(CH_3)_2S$, daqui em diante, DMS]. Finalmente, discutiremos a necessidade de modificações na estrutura do programa de pesquisa Gaia.

EXPLICAÇÕES TELEOLÓGICAS

Há uma grande diversidade de abordagens das explicações teleológicas na literatura filosófica (ver, por exemplo, HULL, 1975; NAGEL, 1998[1977]; MAYR, 1988; LOOIJEN, 1998). Não desejamos aqui abordar exaustivamente os vários argumentos e teorias desenvolvidas por filósofos da biologia para dar conta das explicações teleológicas ou funcionais. A nossa intenção é enfatizar a distinção entre explicação intencional e explicação funcional. Para tanto, tomaremos como referência o tratamento dado por Mayr (1988) a uma objeção tradicional (dentre outras) ao uso da linguagem teleológica na biologia.

A objeção discutida por Mayr diz respeito à suposição de que a linguagem teleológica representa sempre um antropomorfismo questionável (MAYR, 1988). Aqui, uma ressalva se faz necessária. Se aceitarmos que alguns animais não-humanos também possuem estados mentais intencionais – o que significa que agem em direção a objetivos em decorrência de sua intencionalidade[3] (ver

[3] A intencionalidade é uma característica definidora de certos estados mentais, que indica que eles são "sobre" ou representam coisas (CRANE, in: HONDERICH, 1995, p. 412). Ou seja, a intencionalidade dos estados mentais diz respeito à sua característica de apresentar conteúdo sobre outras coisas (*aboutness*). Respostas contemporâneas ao problema da intencionalidade – isto é, de como a intencionalidade pode ser parte de uma ordem natural do mundo – têm sido tentadas de uma perspectiva naturalizada. Essa perspectiva geralmente consiste em abordar os estados intencionais como *causalmente relacionados* às coisas às quais eles dizem respeito

GRIFFIN, 2001) – a objeção referida por Mayr não seria exatamente um antropomorfismo, mas algo mais amplo. Assim, as explicações teleológicas, i.e. as explicações dos processos dirigidos a fins observados nos seres vivos, seriam feitos com base na atribuição de intencionalidade, previsão ou planejamento a esses seres, muitos dos quais não possuem as referidas propriedades. De fato, uma tentativa de explicar toda a gama de processos vivos dirigidos a fins apelando a essas propriedades é algo bastante questionável de um ponto de vista científico. Entretanto, isso não significa que explicações teleológicas como um todo devem ser expurgadas da biologia. A biologia nos mostra exemplos de explicações teleológicas que não recorrem a fins conscientes, mas sim aos conceitos de "objetivo" e "função", entre outros. Dentre essas, estão as explicações funcionais, que devem ser distinguidas das explicações intencionais.

Conquanto nosso foco forem as explicações teleológicas, devemos avaliar também que tipos de fenômenos podem ser considerados teleológicos. Esses podem ser divididos de diversas maneiras, a depender dos princípios escolhidos. Ayala (1998[1970]), por exemplo, sugere três classes diferentes de fenômenos teleológicos:

(i) temos, primeiro, uma classe na qual "o estado final ou o objetivo é conscientemente antecipado pelo agente" (AYALA, 1998 [1970], p. 39). Este é o caso de atividades propositais e ocorre no homem e em alguns outros animais;

(ii) a segunda classe se relaciona "com sistemas auto-regulados ou teleonômicos, quando existe um mecanismo que permite ao sistema alcançar ou manter uma propriedade específica a despeito de variações ambientais" (AYALA, 1998 [1970], p. 40). Esse é o caso, por exemplo, do sistema de regulação da temperatura por um termostato ou da osmorregulação, isto é, a capacidade que alguns animais possuem de manter a pressão osmótica constante,

---

(CRANE, in: HONDERICH, 1995). Looijen descreve o comportamento intencional como "uma ação **A** desempenhada por uma pessoa **P** para alcançar um objetivo **G**" (LOOIJEN, 1998, p. 100). Apesar de se restringir a humanos, não é difícil ver que o argumento aplica-se também a outros animais não-humanos. E continua: "Este objetivo pode ser visto como um estado futuro que é desejado por **P**. Entretanto, ele pode ser visto como um *estado mental interno* de **P**, o qual, juntamente com outro estado mental de *desejar* **G** e a *crença* de que a ação **A** contribuirá para alcançar o objetivo **G**, é um *determinante causal* de **A**" (LOOIJEN, 1998, p. 100). Assim, podemos notar que esta é uma explicação causal, já que apela para condições antecedentes, como o desejo e a crença do agente, como determinantes causais de sua ação. A explicação, como vimos acima, deve fazer referência ao objetivo **G** e ao desejo de alcançar **G**, associado à crença de que **A** é um bom meio para tal.

independentemente do meio externo, dentro de uma determinada faixa de variação.

(iii) a terceira classe, por fim, diz respeito a estruturas anatômicas ou fisiológicas construídas ao longo do processo evolutivo para executar uma certa função, como por exemplo, o coração dos vertebrados.

Ayala (1998[1970]) reconhece que a distinção entre a última categoria e a anterior não é algo claro. Porém, a distinção que aqui nos interessa é entre a primeira categoria e as demais. Para os propósitos desse trabalho, é fundamental ter clareza de que existem fenômenos que podem ser descritos como teleológicos, mas que não são fenômenos intencionais. Em decorrência, as explicações desses fenômenos podem ser teleológicas, sem que, para isso, devam ser intencionais. Apesar de esta ser uma distinção trivial nos debates sobre teleologia, ela precisa ser explicitada aqui, por conta de sua relevância para as discussões sobre a teleologia no contexto da teoria Gaia. Como veremos, é exatamente o fato de Lovelock não realizar esta distinção entre explicações intencionais e explicações teleológicas não-intencionais que o leva a rejeitar o caráter teleológico de sua teoria.

Um aspecto importante é o de que, como Looijen (1998) destaca, em nenhum dos tipos de explicação discutidos acima, causas finais são postuladas.[4] De qualquer modo, o que mais importa para nossos argumentos é a conclusão de que nem toda explicação teleológica é intencional.

Por fim, no cenário atual dos debates sobre explicações teleológicas, o conceito de teleonomia, bastante discutido por Mayr (1982, 1988), merece atenção especial. Essa noção, como veremos, desempenhará um papel muito importante na avaliação do estatuto das explicações teleológicas na teoria Gaia. Segundo Mayr (1982, 1988), desde o começo da ciência moderna, as discussões sobre "teleologia" têm sido prejudicadas pela heterogeneidade de significados desse conceito, que, para ele, foi historicamente negligenciada. Ele argumenta que não é possível chegar a uma compreensão rigorosa das explicações teleológicas sem que a diversidade de fenômenos designados como teleológicos seja devidamente analisada, separando-se tais fenômenos em classes distintas. Essa foi a principal motivação subjacente à análise do conceito de teleologia feita por ele. Nessa análise, Mayr procurou, em particular, distinguir entre usos do termo "teleologia" que são cientificamente legítimos e usos que não o

[4] É necessário assinalar que Looijen (1998), em seu tratamento das explicações teleológicas, se restringe à compreensão aristotélica de causa final, não considerando outras maneiras de compreender este conceito, como, por exemplo, a de Peirce (ver, p.e., HULSWIT, 2001).

são. Ele dividiu os fenômenos ou conceitos teleológicos em quatro categorias (MAYR, 1988): (1) atividades teleonômicas; (2) processos teleomáticos; (3) seqüências evolutivas unidirecionais; e (4) teleologia cósmica. As duas últimas categorias foram rejeitadas pela ciência contemporânea, com argumentos convincentes, provenientes principalmente da teoria darwinista da evolução (MAYR, 1982; 1988; BOWLER, 1989). Para os propósitos do presente artigo, podemos deixá-las de lado.[5] Processos teleomáticos, por sua vez, em geral não têm um papel explicativo importante na biologia, na medida em que são regidos apenas por leis físicas. Assim, podemos focar nossa atenção sobre a categoria mais relevante para a compreensão dos seres vivos de acordo com Mayr, as atividades teleonômicas.

A realização de processos dirigidos para objetivos é, talvez, a característica mais importante dos sistemas vivos. A maioria das atividades conectadas com fenômenos como o desenvolvimento, a reprodução, a migração, a obtenção de alimentos, a corte etc., é caracterizada pela orientação rumo a um objetivo. Essa é uma das razões pelas quais é sumamente importante dar conta do problema da teleologia no domínio das ciências biológicas. Apesar de ser objeto de controvérsias, o conceito de "atividades teleonômicas" propiciou, indiscutivelmente, avanços importantes na solução desse problema.

Processos teleonômicos são caracterizados por dois aspectos: (1) eles são guiados por um programa; e (2) dependem da existência de algum objetivo, previsto no programa, que regula o comportamento. Esse ponto final ou objetivo pode ser uma estrutura, uma função fisiológica, o alcance de uma nova posição geográfica ou atos consumatórios no comportamento. Cada programa particular é resultado da seleção natural, sendo constantemente ajustado pelo valor seletivo do objetivo alcançado. Do ponto de vista da causalidade, é importante salientar que tanto o programa como os estímulos que desencadeiam o comportamento teleonômico precedem, no tempo, os movimentos em direção ao objetivo. Ou seja, existem mecanismos que iniciam ou causam o comportamento dirigido para um objetivo. Explicações teleonômicas são, assim, explicações causais, e o único tipo de causalidade evocado é a causalidade eficiente. Causas finais no sentido aristotélico não são evocadas (GOULD, 2002).

[5] Para maiores detalhes sobre estas categorias e as razões pelas quais elas estão fora do escopo da ciência, ver MAYR (1982, 1988) e BOWLER (1989).

A TELEOLOGIA NO CONTEXTO DA TEORIA GAIA

Neste item, passaremos à discussão sobre teleologia e outros temas associados (como o das propriedades emergentes) tal como aparecem na teoria Gaia. Críticos da teoria, como, por exemplo, James Kirchner (1989, 1993), têm destacado as dificuldades provenientes do uso de uma linguagem teleológica. Kirchner argumenta que Gaia não é uma hipótese[6] única, tratando-se, antes, de uma série de hipóteses distintas, variando de fracas a fortes. Segundo Kirchner (1989, 1993), as hipóteses fracas incluem aquelas que enunciam que a biosfera está envolvida na dinâmica planetária. Porém, essas hipóteses, de acordo com ele, nada propõem de novo, mas apenas enunciam algo que já é do conhecimento científico convencional. Portanto, o conteúdo verdadeiramente novo da teoria Gaia está, para Kirchner, no que denomina hipóteses fortes. Analisando essas hipóteses, podemos distinguir três versões diferentes, apesar de elas geralmente aparecerem combinadas.

A primeira, Gaia Homeostática, declara que há um mecanismo de controle capaz de manter a entidade Gaia em homeostase. Outra hipótese, Gaia Teleológica, afirma que este controle cumpre um propósito definido. Isso coloca, então, o problema de estabelecer qual seria o propósito deste controle. Afinal, sem um propósito definido de maneira independente, Gaia Teleológica simplesmente afirmaria que Gaia cumpre o propósito de fazer qualquer coisa que ela faça. Em outros termos, caso não se defina rigorosamente o propósito ou o conjunto de propósitos do mecanismo de controle postulado pela teoria Gaia, ela se mostrará infalsificável, em termos popperianos. Conseqüentemente, caso utilizemos o critério de demarcação assumido por Popper (1975), a teoria Gaia não poderia ser considerada científica (KIRCHNER 1989, 1993).

O problema colocado por Gaia Teleológica é, segundo Kirchner, respondido por uma terceira hipótese, Gaia Otimizadora. De acordo com ela, o propósito do mecanismo de controle em questão é a manutenção de um estado ótimo para a entidade Gaia, considerada em sua totalidade. Kirchner (1989, 1993), no entanto, afirma que Gaia Otimizadora se defronta com outro problema

[6] Kirchner usa em seus trabalhos o termo "hipótese" para referir-se a Gaia. Ao fazê-lo, está seguindo a prática comum entre pesquisadores que tratam do tema, incluindo o próprio Lovelock. Em nossa visão, contudo, Gaia não é propriamente uma hipótese, mas uma teoria, i.e., um conjunto de afirmações sobre o mundo relacionadas de maneira sistemática e tendo como propósito ou papel a explicação de fenômenos ou padrões observados na natureza, mediante a elucidação de processos ou mecanismos responsáveis pela sua produção ou causação (LIMA-TAVARES e EL-HANI 2001, LIMA-TAVARES, 2003). Neste trabalho, usaremos a expressão "teoria Gaia", ficando restrito o uso da expressão "hipótese Gaia" às citações de outros autores, como é o caso de Kirchner.

difícil: Como definir uma condição ótima para toda a biosfera? Afinal, a biosfera inclui uma enorme diversidade de organismos, cada um com requisitos diferentes, e muitas vezes conflitantes, para sua sobrevivência (LIMA-TAVARES e EL-HANI, 2001). A título de exemplo, basta considerarmos os requisitos bastante diferenciados para a sobrevivência de organismos aeróbios e anaeróbios obrigatórios, isto é, que dependem crucialmente do gás oxigênio, e, ao contrário, são levados à morte por este.

Pelo que foi exposto acima, notamos que a perspectiva de aceitação da teoria Gaia pela comunidade científica depende em parte da abordagem do problema da teleologia em sua estrutura. Afinal, esta teoria, em suas versões fracas, mostra-se cientificamente aceitável, mas não diz qualquer coisa de novo, enquanto, quando diz algo novo, em suas versões fortes, defronta-se com dificuldades importantes, muitas delas relacionadas à teleologia, que parecem minar sua plausibilidade.

Para abordar o problema da teleologia na estrutura da teoria Gaia, realizamos uma análise de textos de autoria de Lovelock. Esperamos que esta análise nos ajude a tornar claras algumas questões concernentes ao uso da linguagem e do modo de explicação teleológicos no contexto da teoria, bem como à rejeição da teleologia por Lovelock e ao seu recurso a emergência de propriedades como justificativa para tal rejeição.

Em sua carta ao periódico *Atmospheric Environment*, de 1972, na qual apresentou a teoria Gaia pela primeira vez, Lovelock a descreveu da seguinte maneira:[7]

> o objetivo desta carta é sugerir que a vida, em estágios iniciais de sua evolução, adquiriu a capacidade de controlar o ambiente global de modo a adaptá-lo às suas necessidades e que esta capacidade persistiu e ainda é ativamente usada. Nesta visão, a soma total das espécies é mais do que apenas um catálogo, "A biosfera", e, como outras associações na biologia, é uma entidade com propriedades maiores do que a simples soma das suas partes. Esta vasta criatura, mesmo que apenas hipotética, com a poderosa capacidade de manter a homeostase do ambiente planetário, precisa de um

[7] As citações de textos de Lovelock e de outros autores foram traduzidas para o português pelos autores do presente artigo, excluindo-se, obviamente, os casos em que os textos consultados estavam em português. Apenas os textos originais em inglês dos quais Lovelock é o único ou um dos autores, encontram-se nas notas de modo que possam ser examinados pelos leitores.

nome; devo a Mr. William Golding a sugestão do uso da personificação Grega da mãe Terra, "Gaia". (LOVELOCK, 1972, p. 579)[8]

Na primeira apresentação da teoria Gaia à comunidade científica, a natureza teleológica da linguagem utilizada por Lovelock é evidente, como podemos notar através do significado de certas palavras usadas. Lovelock diz que a vida "adquiriu a capacidade de *controlar* o ambiente" para "*adaptá-lo* às suas necessidades". Notamos que se estabelece uma relação de implicação entre o controle do ambiente (a homeostase) e o objetivo deste controle, a saber, adaptar o ambiente às necessidades da biosfera, com evidente conteúdo teleológico.[9] Fazendo uso da taxonomia de Kirchner, podemos encontrar neste trecho Gaia Homeostática e Otimizadora.

Por sua vez, a afirmação de que a biosfera é uma entidade com propriedades maiores do que a simples soma de suas partes corresponde a uma máxima holista freqüentemente associada à noção de emergência de propriedades. Embora o simples uso desta máxima não seja suficiente para fazer frente aos problemas filosóficos suscitados pelo pensamento emergentista (ver El-Hani, 2000; El-Hani e Pereira, 1999), é basicamente neste sentido que Lovelock emprega a expressão "propriedades emergentes".

Em um dos artigos que Lovelock publicou em 1974, em colaboração com Margulis, *Atmospheric homeostasis by and for the biosphere*, a atmosfera terrestre é caracterizada da seguinte forma: "a atmosfera da Terra é mais do que meramente anômala; ela parece ser um dispositivo constituído especificamente para um conjunto de propósitos" (LOVELOCK e MARGULIS, 1974,

---

[8] *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 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".* (LOVELOCK, 1972, p. 579)

[9] Não obstante a distinção, por Kirchner (1989, 1993), entre Gaia Homeostática e Gaia Teleológica, pensamos que a relação entre as idéias de homeostase e de tendência a um estado final é mais íntima do que supõe Kirchner. Quando um sistema mantém-se em homeostase, segue de imediato que ele está tendendo continuamente a um mesmo estado final. A manutenção ou a oscilação em torno de um mesmo estado, o que corresponde à homeostase, constitui um objetivo, a despeito das perturbações que podem eventualmente retirar o sistema de seu estado homeostático (HULL, 1975). Assim, na nossa concepção, Gaia Teleológica segue *necessariamente* de Gaia Homeostática e, portanto, é preferível não separá-las. Entretanto, por razões de espaço, não perseguiremos esta linha de raciocínio aqui.

p. 3).[10] Neste trecho, o uso de uma linguagem teleológica também é explícito. De fato, trata-se de uma formulação clara do que Kirchner denomina Gaia Teleológica. Lovelock e Margulis atribuem um conjunto de propósitos à atmosfera, mas não os definem. Ao discutir este mesmo trecho, Kirchner (1993) argumenta 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. Desse modo, a afirmação de Lovelock e Margulis toma como resolvido o problema que, precisamente, sua teoria coloca e que ainda está por resolver. Argumentando que a atmosfera certamente tem uma série de funções importantes, Kirchner (1993) levanta o importante problema de qual dessas funções deveria contar como o propósito da atmosfera. Como visto acima, a resolução é obtida por meio de Gaia Otimizadora, que, entretanto, se defronta com a dificuldade de definir uma condição ótima para todos os seres vivos. Outro importante problema que o argumento de Lovelock e Margulis enfrenta diz respeito ao nível de generalidade em que o propósito da atmosfera é explicitado. Como argumenta Mayr (1988), um comportamento teleológico deve necessariamente ser dirigido a um fim específico. Só assim, proposições teleológicas mostram-se falsificáveis. Assim, esse argumento de Mayr também indica que, para atribuir-se propósito à atmosfera, é preciso indicar de maneira clara e específica a qual propósito ou finalidade ela haveria de servir.

Em seu segundo livro, *The ages of Gaia: a biography of our living Earth*, Lovelock afirma:

> 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 meio de 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 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 superorganismo, então sua explicação requer fisiologia, assim como química e física. (LOVELOCK, [1988] 1995, p. 266)[11]

---

[10] *Earth's atmosphere is more than merely anomalous; it appears to be a contrivance specifically constituted for a set of purposes*." (LOVELOCK e MARGULIS, 1974, p. 3).

[11] *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*

De acordo com a taxonomia de Kirchner, encontramos neste trecho uma clara referência a Gaia Homeostática, evidenciada pelo recurso a uma explicação da teoria baseada em uma analogia com a "fisiologia" e o papel do conceito de 'homeostase' nesta última. Lovelock defende, ainda, que a explicação das propriedades da Terra requer um estudo fisiológico, o que implica, por sua vez, a atribuição de funções às partes do sistema. Assim, este trecho está relacionado também à idéia de que explicações funcionais são necessárias para a compreensão de certas propriedades do planeta Terra, o que vincula mais uma vez a teoria Gaia a um modo de explicação teleológico. Deve-se observar, também, o reaparecimento da máxima holista de que o todo é maior do que a soma das partes, em conexão com a idéia de propriedades emergentes. Como já comentamos, esta é o principal significado associado por Lovelock ao conceito de emergência, que é, assim, restringido à noção de não-aditividade, somente uma dentre várias idéias relacionadas ao pensamento emergentista (ver STEPHAN, 1992, 1999).

A análise dos trechos citados acima, entre muitos outros de passagens importantes de sua obra, permitem que concluamos que Lovelock explica o funcionamento de Gaia proposto por sua teoria de maneira teleológica, apelando repetidamente para as idéias de propósito, homeostase, otimização ou função. A despeito disso, ele rejeita a idéia de teleologia de maneira peremptória, como ilustra a seguinte afirmação a respeito dele e de Margulis: "Em nenhuma parte de nossos escritos, nós expressamos a idéia de que a auto-regulação planetária tem um propósito, ou envolve previsão ou planejamento pela biota" (LOVELOCK, 1990, p. 100).[12]

Em outro trecho do mesmo artigo, Lovelock mostra não estar disposto a aceitar a análise de sua teoria feita por Kirchner. Ele considera que uma parte das teses que Kirchner atribui a ele não corresponde a idéias que tenha de fato defendido, propondo-se a distinguir a teoria Gaia "real" de um conjunto de idéias parasitas ou inquilinas, incluindo as Gaias Homeostática, Teleológica e Otimizadora. Assim, fazendo referência a um congresso da União Americana

---

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 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. (LOVELOCK, [1988] 1995, p. 266)

[12] *Nowhere in our writings do we express the idea that planetary self-regulation is purposeful, or involves foresight or planning by the biota*. (LOVELOCK, 1990, p. 100)

de Geofísica, ocorrido em 1988, Lovelock afirma: que "este congresso marcou o fim da falsa acusação de teleologia – o que alguns, ilogicamente, chamaram de hipótese Gaia forte" (LOVELOCK, 1990, p. 101).[13]

Lovelock manifesta aversão às explicações teleológicas, que são, para ele, como um pecado contra a racionalidade científica (LOVELOCK, 1995[1988], p. 32). De um lado, ele teme as conseqüências da aceitação de uma explicação teleológica para a recepção da teoria pela comunidade científica. É um temor justificável, como sugere a sátira de Ernst Brüke (ver CAPONI, 2002), que afirma que a teleologia é para o biólogo como uma mulher sem a qual ele não pode viver, mas com a qual ele tem medo de ser visto em público. Apesar de todo este receio, não se deve esquecer que, como mostram diversos autores (ver MAYR, 1982, 1988; TAYLOR, 1965; LOOIJEN, 1998, entre muitos outros), muitas objeções ao modo teleológico de explicação já foram superadas.

De outro lado, a rejeição da teleologia por Lovelock é devida a certos equívocos interpretativos. Ele considera que propor explicações teleológicas no contexto da teoria Gaia equivaleria a explicar fenômenos não-humanos em termos de propósitos conscientes. Isso seria, de fato, inaceitável como explicação científica. Contudo, como visto acima, nem toda explicação teleológica é intencional.

O paradoxo entre a firme negação de Lovelock de que sua teoria seja teleológica e a natureza claramente teleológica da explicação proposta para o funcionamento do sistema biota-ambiente postulado por ela decorre tanto de uma compreensão equivocada do modo teleológico de explicação quanto do papel central deste na teoria Gaia. Ele não pode ser eliminado da teoria sem uma perda significativa, em termos conceituais e metodológicos. Na análise lakatosiana da teoria Gaia que realizou, Lima-Tavares (2003) concluiu que as hipóteses fortes identificadas por Kirchner são parte do núcleo duro do programa de pesquisa fundado por Lovelock. Assim, elas estariam entre as proposições infalsificáveis por decisão metodológica dos proponentes do programa de pesquisa Gaia (LAKATOS 1995[1978], LARVOR, 1998). Ou seja, o conteúdo verdadeiramente novo da teoria Gaia é composto, de acordo com essa análise, por proposições acerca do funcionamento teleológico do sistema Gaia que são parte de seu núcleo duro, infalsificável. Assim, caso não seja incluída na teoria Gaia alguma forma de explicação teleológica, o construto teórico resultante não corresponderia mais ao programa de pesquisa Gaia. Em outras palavras,

[13] *This meeting marked the end of the false accusation of teleology – what some, illogically, have called the strong Gaia hypothesis* (LOVELOCK, 1990, p. 101).

eliminar a teleologia da teoria Gaia significaria, na verdade, desconsiderá-la completamente. Considerando-se esse argumento e, também, a proposta de Kirchner de que o conteúdo novo de Gaia está relacionado a idéias teleológicas, deve estar claro que a teleologia não pode ser simplesmente deixada de lado nesta teoria, como pretende Lovelock. Essa é a razão pela qual, não obstante sua intenção de evitar a teleologia, Lovelock termina por não conseguir fazê-lo.

Para colocar de lado a teleologia, Lovelock apóia-se no conceito de propriedades emergentes, afirmando que sua teoria "vê a auto-regulação do clima e da composição química da atmosfera como propriedades emergentes do sistema. A emergência é inteiramente automática; nenhuma teleologia é invocada" (LOVELOCK, 1990, p. 100).[14]

Dois problemas permeiam todo o discurso de Lovelock sobre teleologia e emergência: (i) ele não tem na devida conta os vários problemas filosóficos associados ao conceito de emergência (ver, p. ex., BECKERMANN *et al*., 1992; STEPHAN, 1998, 1999; KIM, 1999; SYMONS, 2002; PIHLSTRÖM, 1999, 2002; EL-HANI, 2000, 2002; EL-HANI e EMMECHE, 2000; EL-HANI e QUEIROZ, 2005); (ii) os conceitos de propriedades emergentes e teleologia não são mutuamente excludentes. Lovelock confunde um modo de discurso epistemológico, concernente ao papel da explicação teleológica na teoria Gaia, com um modo de discurso ontológico, que trata de uma categoria de propriedades, designadas "emergentes". Um argumento ontológico sobre a existência de propriedades emergentes no sistema descrito pela teoria não constitui razão adequada pra rejeitar um modo de explicação teleológico sobre este sistema.

Teleonomia e Gaia

Como foi discutido acima, a análise conceitual do termo "teleologia" realizada por Mayr conduz à conclusão de que, nas ciências biológicas, a forma válida de explicação teleológica é de natureza teleonômica. Embora essa não seja uma conclusão incontroversa, para os fins do presente artigo, é importante investigar se é possível formular explicações teleológicas na teoria Gaia em termos teleonômicos.

Um requisito necessário para que um sistema exiba atividades teleonômicas é a existência de um programa que contenha um objetivo ou um conjunto de objetivos a serem alcançados no comportamento do sistema. Além disso,

[14] *This evolutionary theory views the self-regulation of climate and chemical composition as emergent properties of the system. The emergence is entirely automatic; no teleology is invoked*. (LOVELOCK, 1990, p. 100)

esse programa deve ser, ele próprio, o produto de um processo evolutivo, no qual a seleção natural desempenha um papel consideravelmente importante. Um dos problemas centrais na construção de uma explicação teleonômica é, assim, o da descrição do programa envolvido nas atividades dirigidas afins que um sistema exibe (MAYR, 1988). Mayr oferece uma definição tentativa de programa como

> a informação codificada ou pré-arranjada que controla um processo (ou comportamento), levando-o em direção a um fim específico [...] o programa contém não apenas o projeto, mas também as instruções de como usar as informações do projeto. (MAYR, 1988, p. 49)

Mayr opera na base de uma analogia entre o uso do termo "programa" na computação e os programas biológicos que postula. Essa analogia pode ser, sem dúvida, submetida a muitas críticas (ver OYAMA, 2000[1985]; EL-HANI, 1997; KELLER 2000). Não obstante as dificuldades com as quais se defronta, é importante deixar claro que a analogia não é tão rígida quanto se poderia pensar à primeira vista. Da maneira como Mayr o entende, um programa em sistemas biológicos não é uma mera receita, absolutamente inflexível. O programa interage com o ambiente na busca de objetivos e está sujeito a erros, dos quais depende, inclusive, a ocorrência de sua evolução. Além disso, como ele ressalta, o programa inclui não apenas o projeto, mas também toda a maquinaria executiva necessária ao cumprimento dos objetivos. No caso do programa genético[15] dos organismos, por exemplo, esta maquinaria seria composta por várias proteínas, RNAs etc. (MAYR, 1988).

De qualquer modo, não trataremos aqui das críticas à metáfora do "programa", na medida em que isso nos afastaria de nosso objetivo central, analisar Gaia de uma perspectiva teleonômica. Assim, utilizaremos para nossos propósitos a definição de programa fornecida por Mayr, a despeito de suas claras dificuldades. Como ficará claro mais adiante, é possível demonstrar a

[15] Esta é uma noção amplamente criticada na literatura, sobretudo quando o DNA é tratado como um programa genético. Desse ponto de vista, o DNA tem seu papel na célula superestimado, tornando-se, por vezes, um programa para o desenvolvimento ou um controlador dos processos celulares. É mais plausível pensar em um programa celular que não esteja limitado ao DNA, que é antes uma fonte de materiais para a célula do que uma molécula mestra. Tratar-se-ia de um programa compartilhado no qual componentes celulares funcionariam alternativamente como "instruções" e "dados" (KELLER, 2000). Para maiores detalhes, ver, entre outros, Oyama ([1985]2000), Nijhout (1990), Moss (1992), Smith (1994), Sarkar (1996), El-Hani (1997), Griffiths e Neumann-Held (1999), Keller (2000), El-Hani *et al*. (2006).

impossibilidade de construir explicações teleonômicas no contexto de Gaia sem adentrarmos os debates sobre as explicações teleonômicas em si mesmas.

Para propor uma explicação teleonômica na teoria Gaia, é preciso estabelecer a existência de um programa que coordene a busca de objetivos ao nível do sistema postulado pela teoria, ou seja, da entidade planetária denominada Gaia. Uma série de problemas impossibilita a definição de um programa planetário. Considere-se, que, caso exista, este programa deve encontrar-se em algum componente de Gaia, ou no sistema como um todo. Examinemos, portanto, as possibilidades de localização do programa. Poderiam portar o suposto programa: a biosfera, os oceanos, a atmosfera, as rochas e parte da crosta litosférica. Notemos, em primeiro lugar, que os quatro últimos, individualmente ou em conjunto, não podem ser o *locus* de instanciação do programa, porque, apesar de seu estado atual depender fortemente da presença da vida, são compartimentos físico-químicos. Como tais, os processos nos quais estão envolvidos, se excluirmos as interferências da biosfera, devem ser enquadrados na categoria dos processos teleomáticos. E esses, conforme expusemos acima, seguindo as idéias de Mayr, são regidos por leis físico-químicas, e não por um programa que contenha objetivos a serem realizados.

Desse modo, restam-nos, como candidatos a portadores do programa, duas opções: a biosfera ou o sistema como um todo, este último incluindo todos os compartimentos referidos. Avaliemos ambas as opções, começando pela primeira.

Entre os componentes de Gaia, a biosfera é uma candidata provável para ser portadora do programa, uma vez que programas não ocorrem em compartimentos físico-químicos, se tomados isoladamente. Mas qual seria a natureza de um programa instanciado ao nível da biosfera como um todo? A biosfera não está para os organismos que a constituem como um organismo está para as células que o formam, sobretudo porque a biosfera não apresenta a mesma coesão e integração espaço-temporais que organismos individuais exibem. Esta é uma primeira dificuldade para definir um programa que seria instanciado na biosfera em si mesma.

Poder-se-ia pensar em tal programa planetário como um somatório de programas organísmicos, mas isto seria um erro. Ao nível organísmico, notamos que um efeito fisiológico normal ou funcional dificilmente é resultado da ação de um único gene, de interações aditivas entre os genes ou da influência de fatores ambientais apenas. Normalmente, as interações entre os genes que resultam em efeitos fenotípicos complexos são não-aditivas. Assim, em vez de um somatório, poderíamos conceber o programa planetário como um *conjunto* de sub-rotinas, que não necessariamente se somam, mas interagem umas com as outras. As sub-rotinas seriam constituídas por grupos de organismos, os

quais interagiriam de modo não-aditivo. Entretanto, qual objetivo ou conjunto de objetivos tal programa planetário buscaria? Esta questão traz novamente à tona um problema colocado por Kirchner, que discutimos acima: não há um objetivo único ou mesmo um conjunto bem definido de objetivos cuja busca um programa planetário, concebido como um conjunto de sub-rotinas, poderia coordenar. É muito difícil definir o que constituiria um objetivo ou um conjunto de objetivos que a biosfera como um todo poderia buscar, em vista dos requisitos conflitantes de sobrevivência dos vários seres vivos. Portanto, um programa para tais objetivos não poderia ter sido selecionado ao longo da evolução, ao nível da biosfera como um todo, mesmo que fosse concebível um processo de seleção em níveis hierárquicos tão altos.

Diante dos argumentos apresentados, poderíamos dizer que, caso houvesse algum programa ao nível planetário, haveria conflitos entre suas sub-rotinas, ao nível dos organismos, já que elas coordenariam a busca de objetivos divergentes e até mesmo conflitantes. Uma sub-rotina encontrada em bactérias anaeróbias obrigatórias, por exemplo, coordenaria a busca de uma atmosfera com quantidades diminutas de oxigênio. Essa sub-rotina conflitaria, contudo, com aquela encontrada em seres vivos que são aeróbios obrigatórios, dependendo de uma atmosfera rica em oxigênio para sobreviver. Como um programa planetário poderia funcionar, diante de tal conflito entre suas sub-rotinas? A dificuldade colocada por esta questão parece impossibilitar a interpretação da teoria Gaia a partir do viés teleonômico.

Resta-nos, então, uma última opção para instanciação do programa: o sistema Gaia como um todo. É importante notar que esse sistema é o resultado da combinação dos subsistemas analisados acima, e por isso, tem uma natureza singular. Assim, podemos nos perguntar: os processos que acontecem ao nível global (auto-regulação do clima ou da composição química atmosférica, por exemplo), e que são descritos pela teoria Gaia, pertencem a que categoria de processos: teleomáticos ou teleonômicos? Por um lado, eles não podem ser processos teleomáticos, pois sequer surgiriam sem a participação ativa dos seres vivos (como exige a teoria Gaia) e não podem ser explicados recorrendo apenas a leis físico-químicas. Por outro lado, para se caracterizarem como processos teleonômicos, é necessário que haja um programa planetário. Como vimos acima, Mayr afirma que apenas organismos possuem programas. Desse modo – e essa é uma dificuldade que também afeta as tentativas de instanciar o programa apenas na biosfera – só podemos conceber um programa localizado em Gaia como um todo se aceitarmos a tese controversa de que Gaia é um organismo vivo ou merece ser tratado como tal (já que muitos defendem analogias entre Gaia e os seres vivos). Esse dilema é suscitado, suspeitamos,

por conta da natureza singular do sistema Gaia, que não é tipicamente biológico nem meramente físico-químico.

Tais argumentos parecem colocar uma grande dificuldade para definir um programa planetário e, conseqüentemente, oferecer uma explicação teleonômica no contexto da teoria Gaia. No próximo item, passaremos a explorar uma questão que está bastante relacionada às dificuldades para a definição de um programa planetário, o problema do superorganismo. Os dois pontos estão relacionados porque, por um lado, uma definição consistente do sistema Gaia como um superorganismo poderia abrir as portas para explicar teleonomicamente os fenômenos que a teoria pretende descrever. Por outro lado, se não pudermos definir Gaia como um organismo ou um superorganismo, qualquer explicação teleonômica em seu contexto mostrar-se-á inaceitável, uma vez que este modo de explicação aplica-se a sistemas biológicos e seus programas, sujeitos a evolução por seleção natural.

Gaia e superorganismo

A noção de superorganismo é uma das idéias mais controversas na história da ecologia (SIMBERLOFF, 2000 [1980]). O compromisso com essa idéia é certamente a fonte de muitos dos problemas que afligem a teoria Gaia (LIMA-TAVARES e EL-HANI, 2001). Em muitas passagens importantes de sua obra, Lovelock faz referência a Gaia como um superorganismo. Por exemplo, em seu segundo livro*, The ages of Gaia: a biography of our living Earth* (1988), Lovelock propõe que "a hipótese Gaia, como inicialmente postulada, supunha que a Terra é viva no sentido em que um superorganismo é vivo, e considerava quais evidências havia a favor e contra esta suposição"[16] (LOVELOCK 1995[1988], p. 8).

Freqüentemente, a razão pela qual Lovelock propõe que Gaia pode ser tratada como um superorganismo reside em características que, para ele, o sistema descrito por sua teoria compartilha com os organismos vivos, relativas à constância de certas variáveis, como temperatura e composição química.

Quando Lovelock propôs inicialmente sua teoria, ele não estava ciente de que idéias semelhantes haviam sido defendidas por outros cientistas. Ele relata que foi a partir de informações do historiador Donald McIntyre que ficou sabendo que James Hutton foi o primeiro a apresentar a idéia de uma

[16] *The Gaia hypothesis as first postulated supposed the Earth to be alive in the sense that a superorganism is alive, and considered what evidence there was for and against the supposition.* (LOVELOCK 1995[1988], p. 8)

fisiologia planetária (LOVELOCK, [1988]1995). Lovelock considera Hutton, portanto, um precursor de sua teoria e o primeiro cientista a tratar a Terra como um superorganismo.

> Em 1785, ele disse, numa reunião da Sociedade Real de Edimburgo, que a Terra era um superorganismo e que seu estudo apropriado deveria ser pela fisiologia. Ele prosseguiu, comparando a ciclagem dos elementos nutritivos no solo e o movimento da água dos oceanos para a terra com a circulação do sangue. James Hutton é corretamente lembrado como o pai da geologia, mas sua idéia de uma Terra viva foi esquecida, ou negada, no intenso reducionismo do século XIX; exceto nas mentes de filósofos isolados como Korolenko. (LOVELOCK, 1995[1988], p. 9)[17]

A noção de superorganismo tem raízes antigas. Apesar de essa noção aparecer já em Platão, no seu *Timeu* (PLATÃO, 1977), e também no século XVIII, no trabalho de Hutton, é apenas no século XX que ela apareceu integrada a uma teoria científica, formulada pelo ecólogo Frederic Clements. Ele atribuiu inicialmente a qualificação de organismo à comunidade vegetal e, posteriormente, à comunidade biótica. Para Clements (2000[1916]), ver a formação vegetal como um organismo complexo representaria "a única visão adequada e completa da vegetação" (CLEMENTS, 2000[1916], p. 35). De acordo com Acot (1990), Clements não incluiu explicitamente a formação vegetal na categoria dos organismos, mas buscou explicar a sucessão ecológica com base numa analogia com o desenvolvimento orgânico.[18] Portanto, se tomarmos essa interpretação como correta, seu erro não estaria em pensar que a formação vegetal é um organismo, mas sim em tratar a formação como se fosse um organismo. Portanto, o problema da concepção de Clements é o comprometimento com a idéia de que existe uma unidade, a formação vegetal, que se comportaria como um organismo e, assim, deveria compartilhar mais semelhanças do que dessemelhanças com esses últimos. Em suma, a base do

---

[17] *In 1785 he said, at a meeting of the Royal Society of Edinburgh, that the Earth was a superorganism and that its proper study should be by physiology. He went on to compare the cycling of the nutritious elements in the soil and the movement of water from the oceans to the land, with the circulation of the blood. James Hutton is rightly remembered as the father of geology, but his idea of a living Earth was forgotten, or denied, in the intense reductionism of the nineteenth century; except in the minds of isolated philosophers like Korolenko* (LOVELOCK, 1995[1988], p. 9).

[18] Ulanowicz (1999, p. 128) também comenta que Clements raramente usou o termo "superorganismo" em seus escritos.

problema é que Clements, assim como Lovelock, não considera as ausências de analogias entre o organismo e o nível superior de organização considerado.

Keller e Golley propõem que a teoria Gaia pode ser vista como uma extensão do paradigma de Clements, considerando que "a hipótese Gaia [...] é basicamente o conceito do superorganismo clementsiano aplicado à biosfera inteira" (KELLER e GOLLEY, 2000, p. 28). Assim, é interessante destacar as similaridades que podem ser observadas entre as idéias de Clements e a teoria Gaia.

Clements derivou conclusões sobre as leis que valem para a formação vegetal a partir de analogias entre a formação vegetal e a planta individual. Lovelock, por sua vez, deu um passo muito maior, ao propor uma analogia entre a Terra e os organismos. Mas, se a Terra deve ser tratada como um superorganismo, como sugere Lovelock, é preciso mostrar, então, que há mais semelhanças (e em aspectos relevantes) entre a Terra e os organismos vivos do que dessemelhanças. Em sua obra, Lovelock considera apenas as semelhanças entre o planeta e os organismos individuais, como, por exemplo, a capacidade de reduzir a entropia interna às custas do aumento de entropia do ambiente ao seu redor. É importante notar, assim, que ele não considera as dessemelhanças, as ausências de analogia entre os organismos e a Terra, como o fato de que esta última não se reproduz, não possui um programa genético, não evolui por seleção natural, entre muitos outros aspectos que poderiam ser citados. Essas são características importantes para qualificar algo como vivo, da perspectiva da biologia atual (LIMA-TAVARES e EL-HANI, 2001; LIMA-TAVARES, 2003). Além disso, há semelhanças consideradas por Lovelock, como, por exemplo, a diminuição da entropia interna com base no aumento de entropia do ambiente circunvizinho, que não são propriedades exclusivas dos seres vivos. Na verdade, esta característica distingue sistemas dissipativos (que não se limitam aos organismos, mas incluem sistemas físicos como vórtices, por exemplo) e não-dissipativos. Assim, não se pode dizer que esta seja uma característica relevante compartilhada entre um ser vivo e a Terra, que possa servir de base para que a Terra seja tratada como um superorganismo. Ela somente indica que a Terra pertence à categoria dos sistemas dissipativos, à qual os organismos também pertencem, mas não apóia a idéia de que a Terra esteja incluída na categoria dos seres vivos.

É, sobretudo, com base em ausências de analogias entre a Terra e os organismos que biólogos evolutivos têm criticado a teoria Gaia. Uma das idéias centrais das teorias darwinistas da evolução é a de que são populações de organismos que evoluem, e não organismos individuais. Portanto, a analogia entre a Terra e os organismos individuais deveria levar à suposição, do ponto de vista do darwinismo, de que haveria uma população de "Terras" evoluindo

por seleção natural. Mas não conhecemos outros planetas como a Terra, que constituam juntamente com ela uma população capaz de evoluir. Esse problema foi chamado por W. F. Doolittle (citado em BARLOW e VOLK, 1992) de problema da *população de um*. Mais ausências de analogias entre Terra e organismos surgem, portanto, desse ponto de vista: ou a Terra não evolui, visto que constitui uma população de um único indivíduo e não há variação disponível a ser selecionada (BARLOW e VOLK, 1992), ou, caso evolua, deve fazê-lo por um processo distinto da evolução biológica, de natureza transformacional, i.e., no qual uma entidade individual sofre transformações ao longo de sua existência, e não variacional, no qual a evolução ocorre em populações de entidades variantes (LEWONTIN, 1985).

Dawkins (1982) criticou a teoria Gaia, também de uma perspectiva darwinista, afirmando que não haveria meios de a evolução por seleção natural levar a um altruísmo em escala global.[19] Esse problema está relacionado à questão do nível de organização em que a seleção natural operaria no caso da entidade postulada pela teoria Gaia. Mesmo em níveis menos elevados da organização biológica, como o de espécie, é controverso se há seleção. Pode-se imaginar, assim, as dificuldades para postular processos seletivos ocorrendo ao nível da Terra como um todo.

Sobre seleção de espécies, Meyer e El-Hani comentam:

> A principal crítica à seleção de espécies vem da observação que a seleção é muito eficaz quando olhamos dentro de uma espécie [...]. Isso significa que, para que a seleção atuando sobre espécies fosse capaz de explicar a diversidade do mundo natural, ela teria de ser suficientemente intensa, de modo a superar a eficácia da seleção atuando no nível dos organismos individuais. Esse problema se torna ainda maior porque o número de espécies disponíveis para serem triadas é menor do que o de indivíduos dentro de uma população, e o maior número de indivíduos disponíveis para a triagem torna o processo de seleção mais eficaz; afinal, como há relativamente poucas espécies para serem selecionadas, aumenta a chance de que aquela que sobrevive seja somente a espécie mais "sortuda", e não uma espécie "melhor". (MEYER e EL-HANI, 2005, p. 93-94)

[19] Esta crítica de Dawkins levou à construção do modelo do Mundo das Margaridas (*Daisyworld*) por Watson e Lovelock (1983), que tem sido alvo de um fértil debate nos últimos anos, no qual um dos temas centrais é, precisamente, como compatibilizar a teoria Gaia e as teorias modernas sobre evolução. Não temos espaço, aqui, para estender o tratamento deste debate. Remetemos o leitor, assim, a fontes originais, como Robertson e Robinson (1998), Lenton (1998), Lenton e Lovelock (2000, 2001).

O reconhecimento de que o acaso também é um fator importante no processo evolutivo nos leva à idéia de que a sobrevivência diferencial pode ser o resultado de um acidente, e não de variações nas características dos organismos. Esses acidentes tendem, como argumentam Meyer e El-Hani, a ser mais freqüentes na seleção de espécies, resultando em dificuldades para a postulação de tal mecanismo. Se a seleção de espécies já é algo duvidoso nesse nível da hierarquia biológica, podemos conceber dificuldades ainda maiores em níveis superiores de organização. No caso da entidade postulada pela teoria Gaia, o problema da população de um, apontado por Doolittle, torna evidente a impossibilidade de postular a operação do mecanismo de seleção natural ao nível de tal entidade.

Outro aspecto a considerar é que somente indivíduos darwinianos evoluem por seleção natural. De acordo com Gould (2002, p. 71, 597-613), organismos não são as únicas entidades biológicas que exibem as propriedades necessárias para atribuir individualidade darwiniana. Essas propriedades incluem, de acordo com Gould, critérios como pontos de nascimento e morte definidos, estabilidade suficiente durante o tempo de vida, existência de contornos definidores de uma entidade, produção de prole e herança de características parentais pela prole. Espécies podem ser caracterizadas, com base nesses critérios, como indivíduos darwinianos. Mas é evidente que a Terra não pode ser assim concebida, de acordo com os critérios apresentados acima. Embora cumpra os três primeiros critérios, ela não satisfaz os dois últimos, visto que não se reproduz e, conseqüentemente, não pode haver qualquer tipo de herança de características por uma suposta progênie. No fundo, esta é outra maneira de apresentar o mesmo problema apontado por Doolittle: não pode haver evolução em uma população unitária.

É importante salientar que a idéia de superorganismo na teoria Gaia pressupõe uma questão ontológica ainda mais fundamental, a saber, se Gaia é um indivíduo e, além disso, se este indivíduo é apenas físico ou também biológico (ou até mesmo, se poderia ser algo intermediário).

Com relação à indagação sobre a individualidade de Gaia, podemos dizer que, assumindo uma interpretação realista, a existência de uma entidade planetária é um pressuposto básico da teoria Gaia (LIMA-TAVARES, 2003). Ela considera a auto-regulação e a busca de objetivos sempre ao nível planetário. No entanto, apesar de ser tomada como uma premissa fundamental da teoria, a proposição de que Gaia é um indivíduo raramente é tomada de maneira crítica. Quanto a isso, Barlow e Volk (1992, p. 687) se questionam se "Gaia merece o estatuto de um indivíduo? Ou o sistema global da terra deve ser tratado como o agregado de sistemas vivos e não-vivos que profundamente afetam um ao outro?".

Um indivíduo pode ser definido como "uma entidade coesa e contínua localizada espaço-temporalmente" (HULL, 1992, citado por BARLOW e VOLK, 1992, p. 687). Essa é a idéia que se encontra por trás dos três primeiros critérios apresentados acima para caracterizar um indivíduo darwiniano. O próprio Hull se pergunta "quanto da individualidade de Gaia é devido meramente ao isolamento e quanto é devido à interdependência interna?" (comunicação pessoal, citada em BARLOW e VOLK, 1992, p. 687). Barlow e Volk (1992, p. 687) respondem a esta pergunta nos seguintes termos:

> considerar Gaia como um indivíduo apenas porque ela está limitada pelo espaço não é suficiente para a teoria, já que ela postula uma individualidade mais do que meramente física. A individualidade de Gaia deve ser devida à interdependência interna para que possamos considerá-la como uma entidade real. (BARLOW e VOLK, 1992, p. 687)

Devido às dificuldades de definir Gaia como um indivíduo, eles fazem uma proposta interessante:

> nós notamos que a palavra *Gaia* pode ser dispensada inteiramente, em favor de termos relacionais como *mais Gaiano* ou *menos Gaiano*. Eras de relativa estabilidade, nas quais a biota claramente desempenhou um papel, seriam mais Gaianas, ao passo que episódios instáveis da história da Terra seriam menos Gaianos. A terminologia poderia ser conveniente; mais atrativa, ela seria livre da pressuposição de que existe uma entidade Gaia. (BARLOW e VOLK, 1992, p. 687)

A proposta de Barlow e Volk não nos compromete com a tese ontológica de que exista uma entidade planetária. O movimento é similar àquele que teve lugar nas investigações científicas sobre a mente: nas visões dualistas, a mente é tratada como uma entidade, de modo que alguém pode ter uma mente no mesmo sentido em que possui, por exemplo, um nariz; contudo, na visão científica atual, a mente é tratada como um modo de relacionar-se com o mundo, de tal maneira que se tem uma mente no mesmo sentido em que, por exemplo, se caminha. Nesses termos, ser "mais gaiana" diria respeito a um modo de a biota relacionar-se com as condições físico-químicas da Terra, sem haver compromisso com o postulado de uma entidade composta pela biota e pelo ambiente. Deste ponto de vista, Gaia seria uma propriedade do sistema Terra, e não a própria Terra, ou um sistema que habitaria a Terra. Embora a proposta de Barlow e Volk represente uma reinterpretação da teoria em seus pressupostos básicos, ela se mostra potencialmente profícua, dados os problemas que estão

vinculados à noção da entidade Gaia, se esta for entendida como um superorganismo, como faz Lovelock.

No entanto, é importante deixar claro que não há razões para pensar que o comprometimento com a existência de uma entidade física denominada Gaia seja o verdadeiro problema. Em nossa visão, a dificuldade reside no postulado de que Gaia é uma entidade viva, ou seja, um superorganismo. Assim sendo, apesar de a proposta de Barlow e Volk ter grande valor heurístico e oferecer uma solução ao problema do superorganismo na teoria Gaia, ela não é o único meio pelo qual tal problema pode ser superado. Em outras palavras, podemos continuar a falar em Gaia como um indivíduo, uma entidade ou um sistema, sem assumirmos qualquer compromisso com a noção de superorganismo, a qual carece, em nosso entendimento, de bases firmes. [20]

Nossa expectativa é de que os argumentos expostos até aqui levem ao abandono da tese de que Gaia é um ser vivo ou um superorganismo, apesar da opinião contrária de Lovelock a este respeito. A defesa dessas idéias, que são dispensáveis no que diz respeito ao progresso do programa de pesquisa, só aumenta as desconfianças em torno de Gaia, ao passo que não capta suas idéias verdadeiramente originais.

A CONEXÃO ALGAS-NUVENS

Neste item, examinaremos um dos episódios nos quais a teoria Gaia se mostrou empiricamente progressiva, no sentido definido por Lakatos (1995[1978]), isto é, no qual ela predisse fatos novos, aumentando seu conteúdo empírico (para maiores detalhes, ver LIMA-TAVARES, 2003). Esse episódio está relacionado a uma hipótese elaborada por Lovelock e colaboradores para dar conta de um problema encontrado na compreensão do ciclo do enxofre: trata-se de saber qual o intermediário estável que poderia transportar o enxofre do mar para a terra, completando, assim, aquele ciclo.

O ambiente terrestre regularmente perde enxofre, na forma de íons sulfato, na água que corre dos rios para os oceanos. Assim, caso não existisse algum mecanismo que trouxesse o enxofre de volta dos oceanos para a terra, os organismos terrestres não sobreviveriam, por estarem privados de um elemento essencial. É nesse contexto que surge a questão enfrentada por

[20] É importante notar ainda que a proposta de Barlow e Volk não resolve o problema da teleologia na teoria Gaia em muitos de seus aspectos, visto que ainda mantém referência aos processos de auto-regulação e de busca de objetivos, que estariam presentes nos períodos *mais gaianos* da história da Terra.

Lovelock: Como o enxofre é transportado de volta à terra? Em outras palavras, trata-se de elucidar qual o mecanismo de reposição do enxofre para os sistemas terrestres.

Até o início da década de 1970, todos os modelos sobre o ciclo do enxofre continham um componente de enxofre volátil ou gasoso que seria o responsável pela transferência do enxofre do mar para o ar e, em seguida, para as massas de terra (CHARLSON *et al*., 1987). A visão científica convencional sobre o ciclo do enxofre exigia que grandes quantidades de sulfeto de hidrogênio (H_2S) fossem emitidas do oceano, para compensar a perda de enxofre do ambiente terrestre. Entretanto, Lovelock (2000 [1991]) aponta que a água do mar é muito oxidante para permitir a existência de concentrações suficientes de H_2S para realizar a transferência do enxofre para a terra. Além disso, o H_2S produz um odor muito forte e característico, o que o tornaria facilmente detectável. No entanto, tal composto não havia sido encontrado, o que colocava em dúvida a visão convencional. No começo da década de 1970, Lovelock e outros cientistas começaram a questionar esta visão. Apoiado no trabalho de Fred Challenger (citado em Lovelock, 2000[1991]), no qual o autor observava que muitos organismos marinhos emitem sulfeto de dimetila (DMS), Lovelock se pôs a investigar se este composto, em vez do H_2S, poderia ser o intermediário envolvido no mecanismo de reposição do enxofre.

Em 1972, Lovelock e colaboradores publicaram um artigo sobre o possível papel do DMS na transferência em massa de enxofre dos oceanos para a atmosfera, que carrearia, por sua vez, o elemento de volta à terra. Lovelock estabeleceu que quase todas as algas marinhas emitem DMS, destacando a *Polysiphonium fastigiata* pela quantidade deste composto que produz (LOVELOCK, 2000[1991]). Trabalhos posteriores identificaram outras algas como grandes produtoras de DMS (ver LOVELOCK, 1995[1988], 2000[1991] e GABRIC *et al.*, 2001). Daí em diante, vários trabalhos corroboraram a proposta do DMS como o intermediário procurado.

Lovelock comenta que os resultados da viagem do Shackleton, o navio oceanográfico no qual ele realizou suas pesquisas sobre o DMS, forneceram dados que apoiaram sua hipótese, mas, apesar de terem sido publicados em um periódico científico de grande impacto (*Nature*), permaneceram largamente ignorados até a década de 1980, quando voltaram à tona devido aos trabalhos de Meinrat Andreae. Em 1987, Lovelock e colaboradores publicaram um artigo na *Nature* (CHARLSON *et al.*, 1987) no qual propõem que a rápida oxidação do DMS no ar sobre os oceanos, formando gotículas de ácido sulfúrico, poderia gerar os núcleos que são necessários para a condensação de vapor d'água e conseqüente formação de nuvens sobre os oceanos. Mas os autores foram um pouco além, propondo também o que ficou conhecido na literatura como

hipótese CLAW (uma junção das iniciais dos primeiros nomes dos autores; ver CHARLSON *et al.*, 1987).

De modo muito breve e esquemático, a hipótese CLAW afirma que há uma alça de retroalimentação negativa ligando as algas, o DMS e as nuvens. Segundo os autores, quanto mais quente, mais salina e mais intensamente iluminada a região do oceano, maior a taxa de emissão de DMS para a atmosfera. As porções de água nos oceanos que não estão cobertas por nuvens tendem a ser mais iluminadas e se aquecer mais, já que recebem a radiação solar diretamente. O aumento de temperatura deve aumentar a produção de DMS pelas algas, contribuindo, assim, para a maior formação de nuvens sobre os oceanos. Essas nuvens reduzem, então, a temperatura e a luminosidade da superfície, porque refletem boa parte da radiação solar. A diminuição da temperatura na superfície da água leva, então, a uma menor produção de DMS, o que reduz a produção de nuvens, levando novamente a um aumento da incidência de raios solares sobre a superfície da água.

Uma crítica muito comum dirigida a esta hipótese (e à teoria Gaia como um todo) é que as algas estariam agindo altruisticamente, de modo a contribuir para a regulação do clima global, beneficiando também outras espécies (ver críticas de Dawkins, acima). Isso resultaria em problemas para uma explicação evolutiva da liberação de DMS. Os defensores da teoria Gaia respondem a essas críticas mostrando vantagens que as próprias algas têm ao liberar DMS (ver CHARLSON *et al.*, 1987; HAMILTON e LENTON, 1998).[21]

Notamos, assim, que houve uma alteração do problema que se buscava resolver dentro do programa de pesquisa Gaia, podendo ser esta explicada nos termos da teoria de Lakatos (1995[1978]). Um esforço de pesquisa que se iniciou buscando um intermediário para o ciclo do enxofre não apenas encontrou o composto procurado, mas acabou por descobrir uma relação nova entre o metabolismo das algas e a cobertura de nuvens sobre o oceano. Nos termos de Lakatos (1995[1978]), trata-se de uma "alteração de problemas teoricamente progressiva", que deu origem a toda uma nova área de pesquisa, conhecida como conexão algas-nuvens (*cloud-algae connection*). É necessário ter em mente que a visão anteriormente convencional dizia que uma fonte puramente físico-química poderia produzir o intermediário desconhecido do ciclo do

[21]Atualmente, a hipótese CLAW suscita muitas discussões e está sendo submetida a testes por muitos grupos de pesquisa ao redor do mundo (SCHWARTZ, 1988; GABRIC *et al*., 2001; O'DOWD *et al*., 2002; JONES e ROBERTS, 2004; MONSON e HOLLAND, 2001; VAN RIJSSEL e GIESKES, 2002). Por razões de espaço, não discutiremos os aspectos controversos desta hipótese. Nosso objetivo nesta seção é apenas demonstrar o poder heurístico das explicações funcionais no programa de pesquisa Gaia.

enxofre, no caso, o H_2S.[22] Diferentemente das fontes não-biológicas, os seres vivos produzem compostos de enxofre e o liberam continuamente (CHARLSON *et al*., 1987; LOVELOCK, 2000 [1991], LOVELOCK *et al*., 1972). É importante notar que a descoberta do DMS foi possível devido a algumas idéias centrais da teoria Gaia, como a atribuição de funções aos gases da atmosfera e o entendimento dos organismos vivos como fonte de muitos compostos importantes nos ciclos de elementos. Em outras palavras, podemos relacionar a descoberta do DMS e a alteração de problemas teoricamente progressiva discutida acima às explicações teleológicas (especialmente, funcionais) propostas pela teoria Gaia. Essas explicações desempenham, assim, um papel heurístico muito importante na teoria, a despeito das declarações de seu principal proponente. Reforçando a contradição entre estas declarações e o papel heurístico das explicações teleológicas, Lovelock afirma:

"Qual a função de cada gás no ar?" Fora do contexto de Gaia, essa pergunta seria considerada redundante e ilógica, mas dentro deste contexto não será mais ilógica do que a pergunta: "Qual é a função da hemoglobina ou da insulina no sangue?" Temos postulado um sistema cibernético; portanto, é razoável indagar a função das partes componentes (LOVELOCK, 2000[1990], p. 84).

Notemos que Lovelock refere-se à função de gases no ar, que seriam partes de um sistema cibernético.[23] No caso que estamos analisando, a função do DMS seria contribuir para a formação das nuvens, as quais contribuem, por sua vez, para os processos de auto-regulação do clima.[24]

---

[22] As principais fontes não-biológicas de enxofre, excluindo as atividades industriais humanas, são os vulcões e as fumarolas, que liberam H_2S e SO_2. Esses processos são responsáveis apenas por cerca de 10 a 20% do fluxo natural de compostos de enxofre para a atmosfera. Além disso, a liberação de gases por essas fontes não-biológicas é altamente variável no espaço e no tempo, sendo que pequenas erupções vulcânicas geralmente são de importância apenas local. Por sua vez, grandes erupções vulcânicas, que tendem a influenciar áreas maiores, são eventos muito raros (CHARLSON, *et al.,* 1987).

[23] É evidente que ele também baseia esta afirmação na equivalência entre fisiologia e geofisiologia, e, portanto, na tese de que a Terra seria um superorganismo. Parece-nos, contudo, que é possível sustentar este argumento concebendo somente o envolvimento de um sistema cibernético, sem que haja necessidade de postular que se trata de um sistema vivo.

[24] Podemos notar que a linguagem teleológica está presente na teoria não só na atribuição de função a componentes do sistema vida-ambiente ao nível global (explicações funcionais), mas também como uma explicação do próprio resultado das interações entre esses componentes, a saber, a auto-regulação do sistema como um todo (explicações de auto-regulação). Entendemos este ponto, contudo, mais como matéria-prima para possíveis debates e desenvolvimentos do que como parte indispensável de nosso argumento no presente artigo.

CONCLUSÃO

A proposição da hipótese CLAW e a própria criação de todo um novo campo de pesquisas atestam o valor heurístico das explicações funcionais na teoria Gaia. Essa hipótese tem suscitado um debate intenso na literatura acerca do papel da biota na regulação do clima e nas mudanças climáticas, assim como muitos estudos multidisciplinares sobre a interface oceano-atmosfera.

Esses avanços empíricos significativos produzidos pela teoria Gaia colocam dificuldades importantes para o filósofo da ciência. De um lado, Gaia apresenta problemas teóricos importantes, como o das explicações teleológicas, que, segundo Kirchner, minam sua plausibilidade científica. Mas, de outro lado, os avanços empíricos a que nos referimos parecem ser forte sugestão de que certa forma de explicações teleológicas (as explicações funcionais) e as perguntas que as solicitam são necessárias para o progresso do programa de pesquisa.

Isso exposto, faremos a seguir algumas considerações acerca dos elementos constituintes do programa de pesquisa Gaia, sugerindo reformulações, quando for o caso. Propomos que as explicações teleológicas da teoria Gaia sejam interpretadas como explicações funcionais, as quais devem localizar-se, conforme apontamos acima, no núcleo duro do programa de pesquisa. Parece um caminho promissor interpretar estas explicações da perspectiva de Robert Cummins (1998[1975]).[25]

[25] Atualmente, estamos investigando a possibilidade de interpretar tais explicações/atribuições funcionais da teoria Gaia a partir do ponto de vista de Cummins ([1975]1998, 2002). É importante apontar uma diferença entre nossa abordagem no presente artigo e a de Cummins, no que diz respeito às relações entre explicação funcional e explicação teleológica. Da perspectiva desse filósofo, a explicação teleológica e a análise funcional são duas espécies distintas de explicação funcional. Isso é inverso do que sustentamos aqui, dado que afirmamos que explicações funcionais são um tipo de explicação teleológica. Para Cummins, a análise funcional é uma explicação *não-teleológica,* o que não nos permite, portanto, tratar a análise funcional de Cummins na teoria Gaia como uma espécie de explicação teleológica dos fenômenos da teoria. Estamos cientes dessa dificuldade e da possibilidade de que ela nos leve a uma reformulação da problemática em torno da teleologia na teoria Gaia, mas não iremos desenvolver argumentos nesse sentido aqui, reservando-os para trabalhos futuros. Além disso, essa possível reformulação não nos leva a abandonar as principais conclusões expostas nesse trabalho. A idéia de que a análise funcional de Cummins seja adequada para lidar com explicações/atribuições funcionais na teoria Gaia é muito mais um orientador dos caminhos de nossa pesquisa futura do que uma base de apoio para os argumentos já expostos.

Além disso, sugerimos que mais atenção seja dada a uma versão da teoria que Kirchner (1989, 1993) denominou Gaia Coevolutiva,[26] incluindo-a entre suas hipóteses fracas, que, supostamente, nada diriam de novo. Não nos parece, contudo, que Kirchner esteja correto nesta apreciação. A interpretação dos mecanismos de formação de nuvens e regulação do clima envolvendo o DMS traz, por exemplo, algo de novo, sem que seja necessário comprometer-se com a idéia de um superorganismo. Nos termos de Kirchner (1993, p. 38), Gaia Coevolutiva propõe que "a biota influencia o ambiente abiótico e que o ambiente em troca influencia a evolução da biota por processos darwinianos." Em nossa visão, esta é uma versão da teoria que concilia bem o conhecimento científico estabelecido e o conteúdo empírico original do programa de pesquisa Gaia. De acordo com esta visão, o processo evolutivo não é visto apenas como algo unívoco, mera resposta dos organismos às mudanças ambientais, mas sim como resultado de interferência íntima e recíproca entre organismos e ambiente material. A evolução do nosso planeta é vista, dessa perspectiva, como um processo único, resultado da evolução conjunta dos organismos e de seu ambiente, que se influenciam através de alças de retroalimentação, como discutido no item 4. Os organismos teriam construído o ambiente material que existe hoje e ainda o fariam continuamente, de modo a favorecer sua prole. Aqueles que fossem capazes de interagir com o ambiente e alterá-lo de modo a obter benefícios para sua reprodução teriam vantagens sobre os que não possuíssem essa capacidade. Não é difícil perceber as implicações disso para a biologia e a geologia, que deveriam, então, buscar cada vez mais interação entre suas investigações, ao invés de construírem explicações evolutivas separadas.

No contexto dessa evolução conjunta, faz sentido aplicar a noção de função para além do seu domínio tradicional na biologia, isto é, o nível das atividades orgânicas, comportamentos etc. A teoria Gaia, com a proposta de uma evolução conjunta da biota e do ambiente, permite-nos conceber funcionalidade no domínio da interação entre os seres vivos e o seu ambiente material. O interesse agora recai não mais sobre o organismo individual ou mesmo a população, mas sim sobre o sistema Gaia (ou o sistema Terra, como

[26] O termo "coevolução" é utilizado por Kirchner (e também por Lovelock que o usa repetidamente) no sentido de uma evolução conjunta de organismos e ambiente. Assim, não tem o mesmo sentido dado ao termo por biólogos evolutivos, que tratam coevolução de modo mais preciso e restrito, como um processo evolutivo no qual duas espécies atuam uma como principal pressão seletiva para a evolução da outra, de modo que terminam por construir histórias evolutivas atreladas.

alguns preferem). Nesse nível mais amplo, e concebendo Gaia como um sistema complexo, constituído por organismos e ambiente ligados por alças de retroalimentação, faz sentido atribuir funções às partes do sistema, que, nesse caso, são tanto seres vivos quanto suas construções, como gases, nuvens etc.

Assim, em vista do que apresentamos acima, sugerimos que as proposições de conteúdo teleológico acerca do funcionamento do sistema Gaia, assim como a hipótese Gaia Coevolutiva (seguindo a taxonomia de Kirchner), estejam situadas no núcleo duro do programa de pesquisa. Em conjunto, Gaia Coevolutiva e as explicações funcionais podem contribuir para a continuação do progresso teórico e empírico do programa de pesquisa.

Uma outra recomendação diz respeito a proposições controversas muitas vezes associadas à teoria Gaia. Em nossa visão, proposições metafísicas que caracterizam a Terra como viva ou como um superorganismo não são centrais à teoria e não contribuem para avanços do programa de pesquisa. Essas afirmações, propaladas por Lovelock, mas rechaçadas pela maior parte dos cientistas envolvidos nessa tradição de pesquisa, apenas contribuem para aumentar as suspeitas da comunidade científica em relação à Gaia. Por essa razão, tais proposições devem ser eliminadas do programa de pesquisa, como já sugeriu Lima-Tavares (2003).

As discussões sobre Gaia devem levar sempre em consideração seus avanços teóricos e empíricos, sem estar limitadas a repetir afirmações polêmicas de Lovelock, como a de que a Terra é um organismo vivo. Essa interpretação ingênua da teoria, bastante difundida, vista com freqüência até mesmo no seio da própria comunidade científica (para um exemplo brasileiro, ver CÓ, 2003), não leva em conta de maneira adequada seu conteúdo empírico, reduzindo-o a uma afirmação polêmica e até anti-científica. Além disso, tal visão ingênua não é apoiada por bases epistemológicas consistentes com o discurso científico atual, de modo que não nos dá, dentre outras coisas, uma dimensão adequada das implicações ético-ambientais da teoria Gaia.

Agradecimentos

Nei de Freitas Nunes Neto agradece ao CNPq e à UFBA, por bolsas PIBIC/CNPq-UFBA, CNPq balcão IC, e de mestrado. Charbel Niño El-Hani agradece ao CNPq por bolsas de produtividade em pesquisa e pós-doutorado, e à FAPESB e ao CNPq por financiamentos de projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOT, P. *História da ecologia*. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

BARLOW, C. e VOLK, T. Gaia and Evolutionary Biology. *BioScience*, v. 42, nº 9, p. 686-693, 1992.

BECKERMANN, A.; FLOHR, H. e KIM, J. (Eds.). *Emergence or reduction? Essays on the prospects of nonreductive physicalism.* Berlim: Walter de Gruyter, 1992.

BOWLER, P. *Evolution: the history of an idea*. Londres: University of California Press, 1989.

CAPONI, G. Explicación Seleccional y Explicación Funcional: la Teleología en la Biología Contemporanea. *Episteme*, nº 14, p. 57-88, jan./jun., 2002.

CHARLSON, R.J.; LOVELOCK, J.E.; ANDREAE, M.O.; WARREN, S.G. Oceanic Phytoplancton, Atmospheric Sulphur, Cloud Albedo and Climate. *Nature,* v. 326, n° 6114, p. 655-661, abr. 1987.

CLEMENTS, F.E. Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation. In: KELLER, D.R. e GOLLEY, F.B. *The philosophy of ecology: from science to synthesis*. Atenas e Londres: University of Georgia Press, [1916] 2000.

CÓ, W. Teoria de Gaia. *Natureza on line,* v. 1, nº 1, p. 27-28, 2003. Disponível em < http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/Revista_Online_PontoWalter.pdf>. Acesso em: 05 out. 2006.

CRANE, T. Intentionality. In: HONDERICH, T. (Ed.) *The Oxford companion to philosophy.* Oxford: Oxford University Press, 1995.

CUMMINS, R. Functional Analysis. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (orgs). *Nature's purposes – analyses of function and design in biology*. Cambridge, MA: MIT Press, [1975]1998.

CUMMINS, R. Neo-teleology. In: ARIEW, A.; CUMMINS, R.; ROBERT, P.; PERLMAN, M. (eds.) *Functions: new essays in philosophy of psychology and biology. Oxoford:* Oxford University Press, 2002. Disponível em <https://netfiles.uiuc.edu/rcummins/www/HomePage/Cummins.html>. Acesso em: 16 mar. 2006.

DAWKINS, R. *The extended phenotype*. Oxford: Oxford University Press, 1982.

EL-HANI, C.N. Explicações Causais do Desenvolvimento: são os Genes Suficientes? *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, v. 7, nº 1, p. 121-167, 1997.

EL-HANI, C.N. *Níveis da Ciência, Níveis da Realidade,* São Paulo, FE-USP. Tese de Doutorado, 2000.

EL-HANI, C.N. On the Reality of Emergents. *Principia*, v. 6, nº 1, p. 51-87. 2002.

EL-HANI, C.N. e EMMECHE, C. On Some Theoretical Grounds for an Organism-centered Biology: Property Emergence, Supervenience, and Downward Causation. *Theory in Biosciences,* v. 119, nº 3-4, p. 234-275, 2000.

EL-HANI, C.N. e PEREIRA, A.M.. Understanding Biological Causation. In: Hardcastle, V.G. *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays*. Cambridge-MA: MIT Press, p. 333-356, 1999.

EL-HANI, C.N. e QUEIROZ, J. Modos de Irredutibilidade das Propriedades Emergentes. *Scientiae Studia,* v. 3, nº 1, p. 9-41, 2005.

EL-HANI, C.N.; QUEIROZ, J. e EMMECHE, C. A Semiotic Analysis of the Genetic Information System. *Semiotica*, v. 160, nº 1-4, p. 1-68, 2006.
GABRIC, A.; GREGG W.; NAJJAR, R.G.; ERICKSON, D. J. III; e MATRAI, P. Modeling the Biogeochemical Cycle of Dymethylsulfide in the Upper Ocean: a Review. *Chemosphere – Global Change Science*, v. 3, nº 4, p. 377-392, 2001.
GOULD, S.J. *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge-MA: Harvard University Press, 2002.
GRIFFIN, D. R. *Animal Minds: Beyond Cognition to Consciousness*, 2nd Edition, Completely Revised e Expanded. Chicago: University of Chicago Press, 2001.
GRIFFITHS, P.E. e NEUMANN-HELD, E. The Many Faces of the Gene. *BioScience*, v. 49, nº 8, p. 656-662, 1999.
HAMILTON, W.D. e LENTON, T.M. Spora and Gaia: How Microbes Fly with Their Clouds. *Ethology, ecology e evolution*, v. 10, nº 1, p. 1-16, 1998.
HULL, D.L. Teleologia. In: *Filosofia da ciência biológica*. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.
HULSWIT, M. Semeiotic and the Cement of the Universe: a Peircean Process Approach to Causation. *Transactions of the Charles S. Peirce Society: A Quarterly Journal in American Philosophy*, Summer, v. XXXVII, nº 3, p. 339-363, 2001.
JONES, A. e ROBERTS, D.L. An Interactive DMS Emissions Scheme for the Unified Model. Hadley Centre technical note 47. Exeter-UK: *Hadley Centre – Met Office*. February, 2004.
KELLER, E.F. *The century of the gene*. Cambridge-MA: Harvard University Press, 2000.
KELLER, E.F. Beyond the Gene, but Beneath the Skin. In: OYAMA, S.; GRIFFITHS, P.E. e GRAY, R.D. (Eds.). *Cycles of contingency: developmental systems and evolution*. Cambridge-MA: MIT Press, 2001.
KELLER, D.R. e GOLLEY, F.B. *The philosophy of ecology: from science to synthesis*. Atenas e Londres: University of Georgia Press, 2000.
KIM, J. Making Sense of Emergence, *Philosophical Studies,* v. 95, p. 3-36, 1999.
KIRCHNER, J.W. The Gaia hypothesis: can it be tested? *Reviews of Geophysics*, v. 27, nº 2, p. 223-235, 1989.
KIRCHNER, J. W. The Gaia hypothesis: are they testable? Are they useful? In: SCHNEIDER, S.H. e 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.
LARVOR, B. *Lakatos: an introduction*. Londres e Nova Iorque: Routledge, 1998.
LENTON, T. M. Gaia and Natural Selection. *Nature*, 394, nº 6692, p. 439-447, 1998.
LENTON, T.M. e LOVELOCK, J.E. Daisyworld is Darwinian: Constraints on Adaptation are Important for Planetary Self-regulation. *Journal of Theoretical Biology*, v. 206, nº 1, p. 109-114, 2000.
LENTON, T.M. e LOVELOCK, J.E. Daisyworld Revisited: Quantifying Biological Effects on Planetary Self-regulation. *Tellus Series B – Chemical and Physical Meteorology,* v. LIII, nº 3, p. 288-305, 2001.

LEWONTIN, R. The Organism as the Subject and Object of Evolution. In: LEVINS, R. e LEWONTIN, R. *The dialectical biologist*. Cambridge-MA: Harvard University Press, p. 85-106, 1985.
LIMA-TAVARES, M. *Gaia e ciência: uma análise da cientificidade da teoria gaia de acordo com a metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos*. Salvador: Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências UFBA/UEFS. Dissertação de Mestrado, 2003. Disponível em <http://www.gphfecb.ufba.br/>. Acesso em : 10/01/2004.
LIMA-TAVARES, M. e EL-HANI, C.N. Um Olhar Epistemológico sobre a Transposição Didática da Teoria Gaia. *Investigações em ensino de ciências,* v. 6, n° 3, dez. 2001.
LOOIJEN, R.C. Functional Explanations in Biology. In: *Holism and reductionism in biology and ecology: the mutual dependence of higher and lower level research programmes*. Groningen: University Library Groningen, 1998. Disponível em <http://docserver.ub.rug.nl/eldoc/dis/fil/r.c.looijen>. Acesso em: 25 ago. 2003.
LOVELOCK, J.E. Letter to the Editors – Gaia as seen through the Atmosphere. *Atmospheric Environment,* v. 6, p. 579-580, 1972.
LOVELOCK, J.E. Hands up for the Gaia Hypothesis. *Nature,* v. 344, p.100-102, 1990.
LOVELOCK, J.E. *The ages of Gaia: a biography of our living earth*. New York: W.W. Norton e Company, 1995[1988].
LOVELOCK, J.E. *Gaia – the practical science of planetary medicine*. Oxford: Oxford University Press, 2000[1991].
LOVELOCK, J.E. Gaia: um Modelo para a Dinâmica Planetária e Celular. In: THOMPSON, W.I. (Org.). *Gaia: uma teoria do conhecimento*. São Paulo: Gaia, 2000[1990].
LOVELOCK, J.E. e MARGULIS, L. Atmospheric Homeostasis by and for the Biosfere: the Gaia Hypothesis. *Tellus,* v. 26, n° 1-2, p. 2-10, 1974.
LOVELOCK, J.E; MAGGS, R.J; RASMUSSEN, R.A. Atmospheric Dimethyl Sulphide and the Natural Sulphur Cycle. *Nature,* v. 237, p. 452-453, 1972.
MARGULIS, L. e LOVELOCK, J.E. Biological Modulation of the Atmosphere. *Icarus.* v. 21, nº 4, p. 471-489, 1974.
MAYR, E. *Toward a new philosophy of biology: observations of an evolutionist*. Cambridge-MA: Harvard University Press, 1988.
MAYR, E. *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Brasília: UNB, [1982] 1998.
MEYER, D. e EL-HANI, C.N. *Evolução: o sentido da biologia*. São Paulo: UNESP, 2005.
MONSON, R.K. e HOLLAND, E.A. Biospheric Trace Gas Fluxes and their Control over Tropospheric Chemistry. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 32, p. 547-76, 2001.
MOSS, L. A Kernel of Truth? On the Reality of a Genetic Program. *PSA: proceedings of the biennial meeting of the philosophy of science association,* v. 1, p. 335-348, 1992.
NAGEL, E. Teleology Revisited. In: ALLEN, C.; BEKOFF, M.; LAUDER, G. (Orgs.). *Nature's Purposes – Analyses of Function and Design in Biology,* p. 197-240*,* [1977] 1998.
NIJHOUT, H.F. Metaphors and the Role of Genes in Development. *Bioessays*, v. 12, nº 9, p. 441-446, 1990.