

# O PADRÃO DA (DES)ORDEM DA NATUREZA

FERNANDO ROSADO SPILKI  
ROBERTO NAIME

ISBN 978-85-7717-144-6



9 788577 171446



UNIVERSIDADE  
**FEEVALE**

# O PADRÃO DA (DES)ORDEM DA NATUREZA

FERNANDO ROSADO SPILKI

ROBERTO NAIME



Novo Hamburgo | Rio grande do Sul | Brasil  
2012



**PRESIDENTE DA ASPEUR**

Argemi Machado de Oliveira

**REITOR DA UNIVERSIDADE FEEVALE**

Ramon Fernando da Cunha

**PRÓ-REITORA DE ENSINO**

Inajara Vargas Ramos

**PRÓ-REITOR DE PESQUISA E INOVAÇÃO**

João Alcione Sganderla Figueiredo

**PRÓ-REITOR DE PLANEJAMENTO E ADMINISTRAÇÃO**

Alexandre Zeni

**PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**

Gladis Luisa Baptista

**COORDENAÇÃO EDITORIAL**

Inajara Vargas Ramos

**EDITORA FEEVALE**

Celso Eduardo Stark

Daiane Thomé Scariot

Tiago Ignácio dos Santos

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA**

Tiago Ignácio dos Santos

**CAPA**

Celso Eduardo Stark

**REVISÃO TEXTUAL**

Valéria Koch Barbosa

**DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)**

Universidade FEEVALE, RS, Brasil

Spilki, Fernando Rosado.

O Padrão da (des) ordem da natureza [recurso eletrônico] / Fernando Rosado

Spilki, Roberto Naime – Novo Hamburgo : Universidade Feevale, 2012.

75 p. ; il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso:

<http://www.feevale.br/cultura/editora-feevale>

ISBN: 978-85-7717-144-6

I. Meio Ambiente. 2. Impacto Ambiental. 3. Ecologia. 4. Proteção Ambiental. I. Naime, Roberto. II. Título

CDU 504.06

Bibliotecária responsável: Tatiane Oliveira de Oliveira – CRB 10/2012

© Editora Feevale – TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – É proibida a produção total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos do autor (Lei n.º 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código penal.

**Universidade Feevale**

Campus I: Av. Dr. Maurício Cardoso, 510 – CEP 93510-250 – Hamburgo Velho – Novo Hamburgo – RS

Campus II: ERS 239, 2755 – CEP 93352-000 – Vila Nova – Novo Hamburgo – RS

Fone: (51) 3586.8800 – Homepage: [www.feevale.br](http://www.feevale.br)



## Os Autores

### **DR. FERNANDO ROSADO SPILKI**

Médico Veterinário e Mestre em Ciências Veterinárias pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Doutor em Genética e Biologia Molecular pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Nível 2

### **DR. ROBERTO NAIME**

Geólogo pela UFRGS, Mestre em Geociências pela UFRGS/USP e Doutor em Geologia Ambiental pela UFPR

Professor da Engenharia, Gestão ambiental e do Programa em Pós-graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale (RS)

Vice-Presidente do Instituto Resíduos (MT)

Consultor ambiental da FUNDAMENTAL (Fundação Desenvolvimento Ambiental) da ACI – NH –



*“É destino habitual novas verdades começarem como heresias e terminarem como superstições”.*

T. H. Huxley (1860)

*As ciências não tentam explicar, dificilmente tentam sequer interpretar; elas fazem modelos, principalmente. Por modelo, entenda-se um construto matemático que, com o acréscimo de certas interpretações verbais, descreve fenômenos observados. A justificação desse construto matemático é apenas, e precisamente, o que se espera que funcione.*

John Von Neumann (1989)



Para

Ivone Sartor Naime

*In memoriam*

Valesca, Luisa e Pedro,  
por todos os dias



# PREFÁCIO

A literatura técnica e a própria legislação brasileira, através de suas leis e resoluções de órgãos como o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), têm definições para o conceito de meio ambiente.

Em nossa acepção, meio ambiente é o conjunto de relações entre os meios físico, biológico e antrópico. Podemos dizer que meio ambiente é como a confiança. A confiança é uma relação de integridade entre duas pessoas. É intangível, não é possível tocar e pegar. No ambiente, o todo é, portanto, imensamente maior que a soma das partes. A relação entre cada teia de seres vivos ou mesmo entre elementos químicos é de tal modo complexa que se torna inviável, mesmo com a mais alta metodologia analítica, compreender a totalidade.

O meio ambiente é assim. É intangível. Não dá para nós tocarmos e pegarmos. Tocar numa pedra, na água superficial ou retirada de um depósito rochoso de fluidos, primário ou secundário, ou um elemento de solo é tocar num elemento ambiental do meio físico. Tocar uma planta, um animal, é tocar num elemento do meio biológico. Tocar numa plantação, num produto industrializado ou num depósito de resíduos sólidos (lixo) é tocar num elemento do meio antrópico ou socioeconômico. Grande parte dos conceitos abordados neste livro, sendo o pano de fundo a temática ambiental, é, portanto, mais abstrata do que palpável; todavia, completamente real. O que temos, em termos reais, ao estudar o ambiente, é, na verdade, um retrato em preto e branco um tanto desfocado. Ingênuo o pesquisador, tomador de decisão ou legislador que infere ter do ambiente uma fotografia da mais alta resolução em cores vivas: nossas capacidades de estudo e de entendimento ainda estão limitadas para um quadro verídico.

Essa humildade é necessária, para compreender que, em muitos momentos, uma ação ou elemento introduzidos no ambiente, mesmo que pareçam inofensivos, podem, sim, provocar grandes alterações em virtude das relações entre componentes bióticos e abióticos que estamos apenas iniciando a conhecer. E tudo isso pode ser ainda mais complicado pela presença da constante força de desordem, de entropia presente nos sistema dinâmico, esse Universo único (até prova em contrário...) e caótico em que vivemos.



Os principais constituintes do meio físico são as rochas, os solos, as águas superficiais e subterrâneas, a geomorfologia e os climas. No meio biológico, os constituintes são a flora e a fauna. E, no meio antrópico ou socioeconômico, são todas as atividades do homem, nos setores primário, secundário, terciário e até quaternário, conforme os autores mais modernos. Mas, além da descrição dos entes físicos, está no âmago das questões ambientais o estudo das relações intrínsecas entre esses diferentes constituintes bióticos e abióticos.

Mas, afinal, o que são as relações? Quando alguém preserva um bioma, protegendo, evitando incêndios, impedindo caça e pesca predatórias, está construindo um tipo de relação com o bioma. Quando alguém vai lá e incendia um pedaço de cerrado, está estabelecendo uma outra relação entre o homem e o bioma. Em muitos casos, pode-se estabelecer um tal novo conjunto de relações que se estabelece uma nova ordem nesse sistema. Tal ordem foi desencadeada, portanto, por um complexo intrinsecamente desordenado.

Biomassas que são constituídas por elementos físicos e biológicos, além do antrópico, que interagem entre si dentro de uma relação sistêmica hierarquizada por vários fatores. Os biomassas constituem a unidade padrão mínima de descrição de um sistema natural. Dentro de um bioma, as relações entre os diferentes constituintes não têm apenas uma relação espacial, mas há um componente temporal muito bem estabelecido e determinante dos fenômenos de formação desses sistemas: do lado abiótico, o sistema geológico, com seus tempos infundáveis, suas forças descomunais e a intrínseca relação do todo com os corpos de água e as condições climáticas do local; de outra parte, temos, em um bioma, os componentes bióticos, cuja adaptação ao local, diversidade e vicariância são frutos, em sua maior parte, do processo de seleção natural, descrito já há mais de 200 anos por Darwin.

Tais processos, geológicos ou evolutivos, têm muito em seu âmago de caóticos. A vida, por si só, é um máximo esforço da natureza em direção ao caos e à evolução, o veículo em que se processa essa corrida. Pense, você, na sua pegada ecológica, na energia gasta para este computador onde digitamos tais palavras, neste momento, nos gastos ecológicos necessários para produzir o leite, pão, os produtos de higiene, nos combustíveis fósseis (ou não fósseis) que gastamos neste dia em que vivemos, o que é isso se não uma corrida ladeira abaixo em direção ao caos?

Portanto, meio ambiente não são apenas as flores e as borboletas que muito nos sensibilizam e das quais muito gostamos. Mas o meio ambiente está mais definido pelas relações: relações entre a água e os microrganismos, entre microrganismos e hospedeiros, entre borboletas e flores, humanos e animais, fábricas e rios, as pedras e o ar. E esse meio ambiente aqui apresentado tem um conceito antropocêntrico. É bem definido também atrelado, de uma maneira prática, ao conceito de impacto ambiental, que está circunstanciadamente



descrito na Resolução 01/1986 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)

Nesse documento, o impacto ambiental é resumido como as consequências de todas as relações entre os componentes do meio que são produzidas pelo homem e que podem impactar a própria espécie humana.

Não há sentido no conceito de meio ambiente que não inclua o homem como o centro das motivações, afinal, para que serviria um mundo totalmente preservado e em equilíbrio sem a presença do homem? Talvez para a corrida armamentista da vida em direção ao caos. Mas, convenhamos, em um século em que enfrentaremos profundas mudanças climáticas das quais temos, pelo menos, uma gorda parcela de culpa, talvez devêssemos, ao menos, nos sentir responsáveis por guiarmos o caminho da manutenção dos sistemas naturais que permitam a sobrevivência das outras espécies. E que nós consigamos perdurar seria um bônus extraordinário.

Seres humanos podem, sim, ter uma relação harmoniosa com o planeta, somos, de alguma forma, parte dessa história. Se não existíssemos, nem mesmo assim talvez a situação de conservação da homeostase necessária ao ambiente estivesse adequada, seria outra história e talvez nem valha a pena fazermos digressões sobre esse caminho. Nesse caso, nem mesmo a expressão meio ambiente teria sido inventada.



# Apresentação

No século XX, gradativamente, o homem volta-se novamente para um saber filosófico, em busca de um sentido para sua existência e em busca de um sentido para o mundo em que vive. Essa busca que Castanheira Neves referencia resulta do cansaço do homem frente ao frio intelectualismo racionalista e perante os limites e fracassos do cientificismo positivista-naturalista, que não conseguiram dar respostas aos problemas mais profundos do homem.

Soma-se, ainda, o desenvolvimento histórico-social e cultural da humanidade, que, de forma avassaladora, traz consigo novos e iniludíveis problemas humanos, sociais, ambientais e econômicos, os quais exigem outros olhares e outras respostas frente ao horizonte de angústia que se divisa para ele no que Beck denomina de sociedade de risco global.

Essa angústia, que Jonas acredita ser um clamor por uma nova ética ambiental alicerçada na confirmação de que o homem pode se transformar em uma desgraça para ele mesmo, convoca-o à responsabilidade de proteger e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, inserindo a perspectiva do futuro nas suas decisões. Quando a promessa de uma sociedade tecnológica vira uma ameaça ao ser humano, o direito ao meio ambiente equilibrado e à sadia qualidade de vida aparecem como uma dimensão capital e irrenunciável da humanidade do homem.

Gadamer traz o diálogo como contraponto paradigmático ao espírito instrumental da ciência que calcula, pois o saber é fundamentalmente dialético. Com essas palavras, é possível inferir que um dos motivos da crise ambiental da sociedade de risco global passa pela incapacidade para o diálogo que se dá na estrutura de monólogo da ciência moderna e da formação teórica. Quando se trazem questões profundas da degradação ambiental em fóruns nacionais e internacionais de discussão, pouco se avança pelo fato de serem diálogos semimortos. Veja-se a dificuldade de diálogos inter/multi/transdisciplinares. Outro problema se refere ao saber dominador do pensamento que calcula e a estrutura monologal da ciência.

Neste contexto de superação dos óbices resultantes das matrizes teóricas cartesianas, que definiram a modernidade e o modo de ser da ciência, Rocha propõe uma revolução epistemológica (transdisciplinar) que rompe com a departamentalização dos campos de



racionalidade dominante. Ou seja, falar em preservação da natureza exige que cada ciência possa sair de sua linguagem normatizada e romper com paradigmas já consagrados. Nesse sentido, o tema do meio ambiente mostra-se privilegiado para romper com a fragmentação do saber. Nunca - como hoje - a sociedade é convocada para participar nas discussões sobre a magnitude brutal dos impactos ambientais de médio e longo prazo, bem como de uma nova ética ambiental calcada na responsabilidade intergeracional e transterritorial.

Diz Heidegger que o homem que medita deve experimentar o coração imbuído do desvelamento. Ao exprimir tal afirmação, sua intenção se volta para o que o homem tem de mais próprio, que é “o lugar do silêncio que concentra em si aquilo que primeiramente possibilita desvelamento. Isto é a clareira do aberto”<sup>1</sup>. Ao fazer essa afirmação, ele mesmo questiona: abertura para quê? Esse questionar reserva o olhar para sair do que Streck ensina: sair da certeza de si do pensamento pensante e do *habitus dogmaticus* das ciências.

É nesse contexto que deve ser lida a obra “O Padrão de (des)ordem da natureza”, de Roberto Naime e Fernando Rosado Spilki, que tenho a satisfação de prefaciar e recomendar à comunidade científica e à sociedade. Trata-se efetivamente de um novo olhar sobre a questão fundamentadora do significado paradigmático de ordem e desordem na natureza, bem como o olhar profundo que instiga os seres humanos a terem, sim, uma relação harmoniosa e de responsabilidade com o meio ambiente. É um olhar agudo, penetrante sobre o que denominam de “caos” na natureza e, ao contrário do que parece, o “caos” pode ser traduzido como uma estabilidade e uma estruturação própria e arraigada.

A obra recusa um fechamento, uma completude, verdades prontas e elaboradas. A contribuição de Naime e Spilki está justamente em que eles não buscam certezas, ou não se encontram prisioneiros de alguns impasses epistemológicos e metodológicos. Fazem uma crítica profunda ao funcionamento da ciência acadêmica alicerçada na racionalidade prático-dedutiva que engessa a ciência pelo princípio da razão suficiente ancorada no valor da certeza da ciência, sua universalidade e sua verdade. É a voz de uma crítica decidida a mostrar que, para a civilização ocidental, tudo o que não for cartesiano e não for capaz de integralizar postulados racionais fundamentados na clássica visão da geometria dentro de uma perspectiva lógico-objetivante dela emanada é classificado como irregular.

Mas a inovação da pesquisa de Naime e Spilki está para além das críticas convencionais ao modelo de ciência e pensamento. Com efeito, os autores mergulham na “Teoria do Caos e natureza”; nas modernas concepções da biologia; na simplificação dos conceitos de sustentabilidade na sociedade; nas utopias construídas sobre o universo natural e as re-

<sup>1</sup> HEIDEGGER, Martin. O fim da filosofia e a tarefa do pensamento. In: HEIDEGGER, Martin. Conferência e Escritos Filosóficos. Traduzido por Ernildo Stein. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983, p. 33 e ss. (Os Pensadores).



lações implícitas, para, por fim, mostrar que a crise que atravessa o meio ambiente – e que tem reflexos incomensuráveis para as gerações futuras – possui uma relação direta com a discussão acerca da crise do conhecimento e do problema da fundamentação das ciências na segunda metade do século XX.

É nesse contexto que os autores oferecem uma perspectiva de compreensão do complexo problema metodológico que envolve o pensamento científico que se alimenta na academia. Assim, inscrevem argumentos em favor de um novo paradigma nas ciências naturais e, particularmente, na questão ambiental, que dá a ideia de um *religare*, ou seja, os autores restabelecem o vínculo do homem com a natureza, relacionando princípios, dentro de um contexto de ética, risco, perigo, discussão epistemológica e vínculo com o futuro.

Por tais razões, a obra assume um pensamento crítico e problematizador que retrata as angústias e inquietudes do ser humano com os desafios da sociedade de risco, visto que não é mais capaz de dar respostas às demandas advindas da complexidade dos riscos e perigos ambientais na pós-modernidade. O texto desataca-se pela forma como os autores transmitem novas concepções sobre o que chamam de (des)ordem da natureza. Suas reflexões são como um grito de alerta contra os anos sombrios da matematização das ciências. Vejam-se as próprias palavras dos autores: “o que parece irregular, na verdade, tem um padrão, tanto na irregularidade aparente, como na regularidade semântica que possa ter. Esse padrão é o que chamamos (des)ordem da natureza. É aparente desordem. Mas é ordem. Pode ser um padrão de irregularidades ou um padrão regular. Pode ser descrito de forma linear ou apenas em equações não lineares, em sistemas dinâmicos em que o fluxo de matéria e energia é hegemônico sobre os estados”.

Não se limitam a criticar o que está posto, mas apresentam a (des)ordem da natureza com um outro modo de pensar que se move no sentido de não desconsiderar a historicidade, mas conduzindo o pensar o qual aceita que *a natureza tem um padrão de ordem natural e que, dentro das concepções lineares e cartesianas, muitas vezes, é visto como um padrão de desordem*. Ou seja, não abandonam as outras formas de pensar o meio ambiente, mas apropriam-se delas de uma maneira original. Por isso, pensar o não pensado, na perspectiva de Heidegger, traz consigo riscos e perigos, mas esses riscos e perigos, por sua vez, são os que iluminam o encontro com os novos desafios da relação homem/natureza neste início de século XXI.

Haide Maria Hupffer

Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental

Universidade Feevale



## Sumário

13	INTRODUÇÃO
18	1 TEORIA DO CAOS E NATUREZA
43	2 AS MODERNAS CONCEPÇÕES DA BIOLOGIA
53	3 A SIMPLIFICAÇÃO DOS CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE NA SOCIEDADE
64	4 AS UTOPIAS DO UNIVERSO NATURAL E AS RELAÇÕES IMPLÍCITAS
71	CONSIDERAÇÕES FINAIS
73	REFERÊNCIAS



## INTRODUÇÃO

O geólogo russo TER STEPANIAN (1970), num boletim do IAEG (International Applied Engineering Geologists), em 1970, propôs que o período geológico atual, denominado holocênico, fosse conhecido por Tecnógeno.

E o que significa tecnógeno? Uma fase da vida da humanidade sobre a Terra, em que a ação humana (antropogênica ou de engenharia) é hegemônica sobre as ações geológicas, químicas e biológicas.

O tecnógeno é, então, uma ciência voltada para o futuro, preocupada em acompanhar as mudanças ambientais e os riscos naturais devido à lenta ação de fatores imperceptíveis, que são gerados pela atividade tecnogênica do homem.

O tecnógeno precisa criar novos padrões, nos quais não necessariamente equações lineares, oscilatórias ou equações muito simples podem servir de modelos para sistemas governados pela entropia, em que os processos de fluxo de energia e materiais são hegemônicos sobre as representações fenomenológicas.

O tecnógeno guarda implícito o conceito de que a resiliência dos meios naturais foi ultrapassada. Ou, traduzindo, que a capacidade de autorrecuperação dos ecossistemas e dos sistemas, em geral, não consegue mais agir para voltar ao estado anterior a um impacto ambiental sozinho. Precisa da ajuda do próprio homem que gerou o impacto ambiental.

Fazendo uma analogia com uma borrachinha de dinheiro usada pelos bancos, podemos entender assim: nós espichamos a borrachinha e, enquanto ela não rebenta e volta ao normal quando paramos de espichar, a resiliência não foi ultrapassada. Quando a borrachinha rebenta, quer dizer que a resiliência ou capacidade de autorregeneração do sistema foi ultrapassada.

Já faz quase 20 anos que o autor TER STEPANIAN fez a proposta original. E, de lá para cá, as condições ambientais do planeta se tornaram muito mais deterioradas. Ninguém mais contesta que as situações ambientais estão se tornando mais complexas, mais delicadas e influenciando cada vez mais a qualidade de vida para as pessoas na Terra.

Mais modernamente, propõe-se, em data ainda controversa entre o início da revolução industrial e o final do século XX, como o início do Antropoceno, a era de influência massiva da espécie humana, uma época de profundas mudanças climáticas e de transforma-



ções expressivas no modo em que vivemos em virtude das alterações no ambiente. Estamos tratando de caos e precisamos entender o que representa a chegada do Antropoceno. De um lado, temos uma espécie que sobreviveu e desenvolveu-se por um período e população nunca antes experimentados por nenhum de seus “parentes” naturais: nunca uma espécie de mamíferos qualquer perdurou sobre a face da Terra por mais de um milhão de anos. Sim, somos inéditos! E, do ponto de vista do sentido caótico da vida, em um sistema complexo, o que isso representa? Que, para compensar esse altíssimo grau de organização em que nossa sociedade, os serviços e as cadeias produtivas se encontram, é inexorável que, em compensação, o sistema à nossa volta comece a se desorganizar em marcha acelerada. Pessimista? Olhe pela janela. Teremos de repensar, em um futuro próximo, o próprio conceito de desenvolvimento sustentável.

A agenda 21 brasileira – bases para discussão, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente, discute desafios, em vários setores, relevantes para a gestão de recursos naturais do país e a sustentabilidade em setores fundamentais.

A sustentabilidade é definida como um planejamento do desenvolvimento que promova o uso racional dos recursos naturais, com a justa repartição dos benefícios alcançados.

Esse documento se junta a outras normas legais que consagram, no país, o sistema de unidades de conservação, mais característico dos Estados Unidos, com o sistema de licenciamento ambiental, cujo maior desenvolvimento e aplicação ocorrem na Europa.

Portanto, a aceitação cada vez maior, no meio acadêmico, do conceito de tecnógeno traz como consequência principal o consenso de que, atualmente, as relações dos processos antropogênicos, ou seja, gerados pelo homem (ou de engenharia, nesse sentido, como estradas, pontes, barragens, lavouras, indústrias, esgotos e resíduos sólidos), naturais e induzidos, são os processos dominantes no tecnógeno (ou antropoceno, como queiram).

Esses processos ultrapassam a capacidade de a natureza se recuperar sozinha, impondo a necessidade da própria intervenção humana, para auxiliar na recuperação da natureza e na manutenção do equilíbrio, que é fundamental para a qualidade de vida do próprio homem na Terra.

Isso é mais bem compreendido, quando partimos das premissas da moderna biologia, de Lynn Margulis e James E. Lovelock, criadores da hipótese Gaia, os quais, a partir dos conceitos de entropia e processos, imaginam a vida como fluxos dinâmicos de matéria e energia não mensuráveis por equações matemáticas simples. São processos que guardam em si a tendência natural da energia e da matéria em caminharem, inexoravelmente, para a situação de maior entropia, de caos. Mas e a vida? E a complexidade de cada célula viva? Nada mais que um pequeno recipiente de organização capaz de causar uma organização



muito mais alta ao seu redor em sua curta existência do que um agente abiótico seria capaz em toda a escala geológica. Sim, nós, seres vivos, somos um trampolim, um plinto, um lançador de foguetes para o caos, a obra máxima da natureza, não por nossa beleza e pela maravilhosa sensação do amor, de estarmos vivos, mas por que somos a expressão máxima da fome de natureza de autodestruir e reinventar.

Para Margulis e Lovelock, as condições necessárias para a vida são criadas e mantidas pela própria vida num processo automantenedor de retroalimentação dinâmica, caótico *ab initio*. Um bom exemplo é a versão mais simples da analogia da margarida. As margaridas brancas refletem a luz, tornando o planeta mais frio. As margaridas pretas absorvem a luz, reduzindo o albedo ou a refletividade e, com isso, tornando o planeta mais quente. As margaridas brancas querem um planeta mais quente, significando que florescem preferencialmente quando as temperaturas se elevam. As margaridas pretas querem um clima frio. Essas características podem ser descritas em uma série de equações não lineares e o mundo das margaridas pode ser movimentado, formando um equilíbrio dinâmico (homeostase).

A preocupação com o meio ambiente, em sua concepção mais atual, nasceu na década de 50, na pequena cidade de Minamata, no litoral do Japão, um lugar pequeno e tranquilo, em que boa parte da população vivia da pesca.

Em 1932, instalou, nessa localidade japonesa, a indústria Chisso, a qual fabricava acetilaldeído, que é usado na produção de plásticos. Seus resíduos eram despejados no mar, sem qualquer tratamento e continham grande carga de mercúrio.

O mercúrio é um metal pesado, teratogênico (causa problemas na formação dos fetos durante a gravidez). Em 1953, depois de várias observações de animais com comportamento estranho (gatos realizando estranhos movimentos, com sinais de comprometimento das funções do sistema nervoso), também começaram a se identificar vários problemas de coordenação motora na população humana, além dos problemas dos nascituros.

Na cidade japonesa de Minamata, houve mais um desdobramento trágico que hoje se repete de uma forma muito comum. A indústria Chisso empregava boa parte da população e, se fechasse, as pessoas ficariam sem trabalho. Foi o primeiro e clássico caso de conflito entre a sobrevivência e a qualidade de vida.

Com o tempo, tornou-se um consenso que, para solucionar os problemas ambientais, é necessário antes resolver o problema da sustentabilidade econômica das populações humanas. Não há como pedir para uma pessoa remediada, que sustenta sua família através da renda de uma atividade predatória, que pare de fazer isso por consciência ambiental, sem que se dê uma alternativa econômica para essa pessoa.



Isso não é o caso de grandes empreendedores, que, por desconhecimento, ou alegado desconhecimento, causam impactos ambientais de relevância e não se conscientizam, para elaborar um planejamento que compatibilize suas atividades com os meios físico, biológico e antrópico, sem causar impactos ambientais.

Em Minamata, houve um confronto amargo entre empregados da fábrica e parentes das vítimas, que somente cessou quando a organização mudou seu ramo de atividade. Todavia, analisemos, Minamata é um caso extremo: os efeitos da poluição sobre a saúde de seres humanos e animais domésticos apresentaram-se de forma clara, à luz do dia, a fonte de poluição era focal, de fácil determinação. O próprio contexto geral teve efeito restrito geograficamente. Não raro nos deparamos hoje com situações diametralmente opostas, quando temos fontes de poluição difusas, efeitos sobre a saúde que só serão sentidos muitos anos após convivência crônica com os poluentes, efeitos sobre fauna e flora silvestre, bem como alterações em escala não mais regional, mas global.

É geral, na história da humanidade, o conflito entre uma suposta abordagem mais positivista (ou até hedonista) que valoriza a subsistência vista como sobrevivência física imediata como sendo superior a uma visão mais integrada e sistêmica, que aborda a sobrevivência física dentro de um contexto mais coletivista.

Num mundo que oscila com níveis de desemprego geralmente elevados, escassez ou má distribuição de bens e meios de sobrevivência, e onde os sistemas de proteção social não são sempre bem desenvolvidos e não respondem às necessidades sociais das comunidades, essa visão não sofre muitos questionamentos, ao ser permanentemente hegemônica.

A doença de Minamata, como veio a ser conhecida, foi o estopim que chamou a atenção do mundo todo para os problemas ambientais. Foi possível ver que não era viável continuar agredindo a natureza sem pagar um alto preço por isso.

Particularmente, houve uma consciência de que os metais pesados são um grande perigo. O mercúrio, por exemplo, é cumulativo nos tecidos animais, torna-se teratogênico no gênero feminino durante a gestação, causa problemas de toxidez e psicomotricidade, dentre outros, e pode levar à morte.

O simples condicionamento de baterias, feito por pequenas indústrias de fundo de quintal, produz vapores de chumbo altamente tóxicos que se desprendem do processo. Agora que não se comece a moralização do setor ambiental pelas pequenas indústrias de condicionamento de baterias, pois existem questões bem mais graves. O mesmo vale para o pequeno agricultor, muitas vezes, penalizado em detrimento do grande latifundiário. Aliás, a própria legislação e a regulação ambiental são de tal modo cegas em nosso meio que



punem todos da mesma forma: o pequeno quebra ao ser autuado, o grande paga a multa e resolve o prejuízo de forma contábil.

É quase como a discussão que tem se colocado sobre o aquecimento global. Está cada vez mais evidente, para o conjunto das pessoas, a influência de fatores reconhecida-mente geológicos, como a orientação do eixo magnético da Terra, as explosões solares, o tamponamento das geleiras e outros fatores, os quais influenciam tanto separadamente como em conjunto. Mas isso jamais significa que não exista influência antrópica com a poluição industrial descontrolada, as queimadas de vegetação, a falta de preservação de florestas e os demais fatores que atuam sinergicamente entre si para produzir efeitos de aquecimento global. Não há como tapar o Sol com a peneira, aliás, há tempo contribuímos fortemente para destruir nossa “peneira” de ozônio.

A função da ciência, nesse caso, parece ser determinar qualitativa e quantitativamente a influência de cada variável, seja geológica ou antrópica, e procurar determinar a sinergia entre os fatores de um e de outro tipo. Sempre com humildade, conforme mencionado no prefácio deste livro: não sejamos ingênuos a ponto de imaginarmos que, ao examinarmos hipotéticos 1500 parâmetros, em uma amostra retirada do ambiente, não possa haver ali um poluente na 1501ª posição, da qual não temos nem notícia. Mais que isso, aos poucos e muito lentamente é que estamos engatinhando no sentido de conhecer as relações entre esses constituintes, que talvez sejam muito mais importantes do que sua simples presença ou ausência.

Metais pesados, como os que saturavam os efluentes industriais da Baía de Minamata, no Japão, são um risco constante para a saúde humana, constituindo um perigo ao qual devemos sempre estar atentos. Não são os únicos problemas ambientais do mundo, mas talvez constituam um dos mais graves, assim como o propalado aquecimento global. Mas, com certeza, não queremos sofrer como os habitantes de Minamata. Pensemos ainda no dia a dia, na massiva contaminação de nossos corpos hídricos por matéria fecal, pesticidas e resíduos sólidos; na contaminação do ar por poluentes variados; na infiltração do solo por poluentes que voltarão à nossa mesa em longo prazo.



## 1 TEORIA DO CAOS E NATUREZA

No Laboratório Nacional de Física, em Los Álamos, nos Estados Unidos, estudando a turbulência nos líquidos e gases, a vida, para Mitchell Feigenbaum, tornou-se um caleidoscópico quântico. As nuvens formadas em alguns experimentos representam um aspecto da natureza negligenciado pela física, um aspecto ao mesmo tempo nevoento e detalhado, estruturado e aparentemente imprevisível.

Em 1974, embora poucos colegas soubessem disso, Feigenbaum estava trabalhando num problema que os físicos denominam de “profundo”: o caos. Onde começa o caos a ciência clássica emperra. O mundo tem um desconhecimento clássico sobre as desordens da atmosfera, as turbulências do mar, as variações de populações animais e as oscilações do coração e do cérebro. É um pecado venial, aos poucos sendo abandonado, mas a ciência sempre se postou como senhora dos acontecimentos, vendo os dados extraídos da natureza de cima.

No século XX, o advento do problema do caos e a descoberta de um sem-número de relações de ordem complexa na natureza, só explicáveis pela desordem, jogou a nós, cientistas, de joelhos perante a natureza, posição mais adequada. A irregularidade característica da natureza, seu lado aparentemente descontínuo e incerto, tem sido um enigma para as ciências.

No entanto, com o tempo, os fisiologistas descobriram uma surpreendente ordem no aparente caos que se desenvolve no coração humano. Os ecologistas exploraram a ascensão e a queda da população das mariposas conhecidas como limântrias. Os economistas desenterraram velhas séries de cotações de “commodities” e tentaram novas abordagens.

Todas as compreensões que surgiram dessas investigações levaram diretamente à natureza: às formas das nuvens, aos caminhos percorridos pelos relâmpagos, às interligações microscópicas dos vasos sanguíneos e às aglomerações estelares galácticas.

Começava a surgir o conceito de “sistemas dinâmicos”. Em Los Álamos, começa a surgir um centro de estudos não lineares. A nova ciência em formação cria uma linguagem própria: fractais e bifurcações, intermitências, periodicidades, difeomorfismos e outras.

Começa a ganhar consenso a ideia de que o caos é, antes de tudo, uma ciência de processo, hegemônica sobre o estado, ou seja, é mais do vir a ser do que de ser.



Em qualquer meio considerado (físico, biológico e até antrópico), o comportamento do processo tende a obedecer aos mesmos padrões que são capazes de descrever a aparente desordem. A percepção desse fato começa a interferir na forma com que todas as ciências observam seus objetos.

A teoria do caos induz a uma diferença fundamental na visão científica. Modifica a forma clássica de visão entre o observador e o objeto e reverte a tendência clássica da especialização por uma visão holística, sistêmica, integradora e interdisciplinar. Isso interfere drasticamente na tendência ao reducionismo, a isolar e a resolver um problema fora do contexto em que está inserido.

O caos movimenta-se em direção ao todo e procura observar e descrever esse todo. Na pós-modernidade, a visão dominante deve perpassar a multidisciplinaridade, vamos no caminho da antedisciplinaridade: que se rompa o viés das formações acadêmicas, o foco agora é no objeto, o cientista não entende mais nada *a priori*, ele busca entender o que vê. Essa mudança de concepção sobre o mundo e dos caminhos epistemológicos é, em grande parte, fruto da descoberta dos fenômenos caóticos ou desordenados.

O caos suscita problemas que desafiam os modos tradicionais de exercer a ciência. Acaba ressaltando o conceito básico de que o universo é governado pela entropia e, por isso, desenvolve o conceito de sistemas dinâmicos. Os sistemas da natureza, que tendem a ser simples, criam os mais difíceis problemas de previsibilidade. Nos sistemas naturais, pequenas diferenças de insumos podem se transformar rapidamente em grandes diferenças de resultados, um fenômeno que, na esfera científica, recebe a denominação de “dependência sensível das condições iniciais”.

Qualquer pequena perturbação em sistemas complexos (a construção de uma casa, uma fábrica ou o plantio de uma árvore, por exemplo) causa não efeitos de fácil mensuração e contornáveis, mas de cunho, na verdade, imprevisível em seu âmago. Na meteorologia, isso se traduz como o conhecido “efeito borboleta” ou a noção de que uma borboleta, agitando suas asas em Pequim, pode modificar sistemas meteorológicos em Nova Iorque, conforme enunciado por Prigogine.

A “dependência sensível das condições iniciais” tem até um lugar no folclore popular:

“Por falta de um prego perdeu-se a ferradura;  
Por falta de uma ferradura, perdeu-se o cavalo;  
Por falta do cavalo, perdeu-se o cavaleiro;  
Por falta do cavaleiro, perdeu-se a batalha;  
Por falta da batalha, perdeu-se o reino!”



George Herbert, citado por Norbert Wiener (MASANI, 1981), observa que “Um furacão é um fenômeno extremamente local, e detalhes aparentemente sem grande importância podem determinar seu caminho exato”.

Edward Lorenz gostava da instabilidade do tempo. Ele buscava captar a essência da maneira pela qual as configurações atmosféricas se modificavam com o passar do tempo. O que aparentemente é aleatório seguia um padrão não linear, em que equações simples não eram capazes de representar os fenômenos descritos, os quais, no entanto, tinham seu próprio padrão. Antes, pensava-se que a previsão numérica determinista que calculava rotas precisas para aviões e mísseis tinha de ser capaz de fazer o mesmo com o vento e as nuvens. Lorenz descobriu e provou que não.

Ele declarava “A idéia básica da ciência ocidental é que não temos de levar em conta a queda de uma folha em algum planeta de outra galáxia quando estamos tentando explicar o movimento de uma bola de bilhar numa mesa de bilhar, na Terra” (GLEICK, 1989). Ou seja, seriam os chamados fatores não relevantes e, com o tempo, a ciência do caos percebeu que esses chamados “fatores não relevantes” se tornavam muito relevantes e não podiam ser codificados em equações simples, lineares ou oscilatórias. Aliás, estamos vivendo na aurora do entendimento e da descrição matemática de sistemas de elevada complexidade (e desordem).

Nessa associação, é possível prever até onde a Lei dos mínimos de Liebig pode se tornar “uma dependência sensível dos fatores iniciais” em sistemas dinâmicos como plantas e animais, que podem ser descritos muito mais por processos de matéria e energia do que por descrições fisiológicas. Quanto que um excesso de um oligoelemento, na composição inicial, pode desencadear de alterações na *performance* do ente vegetal ou animal? Já existem algumas respostas bem definidas para algumas dessas hipóteses.

É de domínio público que a carência de determinados nutrientes, como Ca e Fe, nas fases iniciais de crescimento, é uma carência determinante na qualidade da estrutura óssea em formação e se traduz em carências e deficiências durante toda a vida, um bom exemplo de efeito de grande porte de uma perturbação de pequena monta.

Lorenz descobriu, em seu sistema de equações, que os pequenos erros podiam gerar modificações catastróficas das previsões meteorológicas. Assim talvez como pequenas modificações iniciais em oligoelementos podem se tornar vitais no decorrer da vida de uma planta, um animal ou de populações de plantas e animais. As dificuldades de quantificar essas grandezas, de forma científica, não significam que eles não sejam fatores relevantes.



Esses são sistemas que não se comportam de maneira periódica. Essa não periodicidade produz alterações dramáticas na formulação e testagem de hipóteses, fazendo com que muitos trabalhos sejam alterados, para que possam, cartesianamente, acabar em equações lineares, tanto correlacionáveis em retas como em oscilações ou assíntotas.

Muitos desses trabalhos acabam com dados matemáticos abandonados por não se enquadrarem em tratamentos matemáticos ou estatísticos convencionais. São classificados como dados erráticos, não representativos ou que apresentam desvios-padrão muito elevados, sempre acabando descartados. O que dizer de nossos monitoramentos ambientais, tomados com dados únicos, pontuais ou, no máximo, discretos?

Durante muito tempo, as previsões econômicas e meteorológicas obtidas através de simulações matemáticas apresentavam resultados semelhantes. Apenas porque existiam muitos fatores relevantes ao mesmo tempo e as funções eram incapazes de considerar todos. Depois, evolui-se para a miscelânea de conceitos mal compreendidos: multidisciplinar, interdisciplinar, transdisciplinar. Por multidisciplinar entende-se a contribuição de várias ciências para a elucidação tanto conceitual quanto matemática de um problema.

Interdisciplinar são várias áreas do conhecimento interagindo na solução de um problema, numa semântica que se confunde. Mas transdisciplinar é outra coisa, vem de transitar. Meio ambiente, por exemplo, transita em várias áreas científicas; advogados fazem direito ambiental, o que é diferente dos biólogos, quando fazem ecologia ambiental, o que, por sua vez, é diferente dos geólogos, quando fazem geotecnia ambiental, diferente dos químicos, ao fazerem química ambiental.

Nem todas as variáveis são facilmente mensuráveis, tanto em laboratório quanto em uma pesquisa de campo. GLEICK (1989) apresenta um exemplo clássico: variáveis como “otimismo do consumidor” não são tão facilmente mensuráveis quanto “umidade” em qualquer meio. Mas, numa suposta aleatoriedade, existe muito mais padrão do que se imagina, apenas num sistema que não se deixa descrever por equações lineares.

A matemática de sistemas nunca encontra sistemas em regime estacionário e isso é uma tremenda dificuldade. Mas, então, cabe questionar: qual o sistema natural que não apresenta características de dinâmica hegemônicas? A experiência de vida nos mostra que uma cadeia de acontecimentos pode ter um ponto de crise que amplifica as mudanças. Não deixa de ser emblemático o exemplo da gota de água que ultrapassa a tensão superficial de um copo transbordante e começa o fluxo de água para fora do copo. O folclore popular reconhece o fenômeno através da expressão: “foi a gota d’água”.

As religiões orientais, de certa forma, antecipavam essa realidade, ao reconhecerem a hegemonia de um certo fatalismo sobre um determinismo simples que não conseguia



reproduzir o meio natural. Os sistemas não lineares não podem, em sua grande maioria, ser solucionados nem podem ser somados uns aos outros. A convecção responsável pela deriva continental (“continental drifting”) é um dos mais acabados exemplos de não linearidade. Todos os cientistas que descreveram o processo, desde Tuzo Wilson, atribuem a formação de correntes de convecção no manto com a separação de continentes ou formação de “hot spots” ao acaso, quando, não verdade, fazem isso apenas porque equações lineares não são suficientes para descrever o fenômeno, o qual, com certeza, tem seu padrão, embora ainda não compreendido e descrito completamente.

Na rolagem de um fluido, essa questão da convecção é bem sintetizada. Quando se aquece um fluido, a parte mais aquecida se expande, tornando-se menos denso e, assim, mais leve, o suficiente para que o atrito seja superado e ocorra o movimento em direção à superfície. No caso dos fluidos, são clássicos os exemplos com o número de Reynolds que vai definir o fluxo turbulento ou laminar, o qual controla tantas ações na natureza, como a erosão.

A alteração do eixo magnético da Terra é um geodínamo que, certamente, tem seu próprio caos, ou seu próprio padrão não linear. Outros sistemas não lineares descritos e análogos aos campos de convecção são as rodas de água. No alto, a água cai constantemente em recipientes na estrutura da roda de água. Se a corrente de água for muito lenta, o recipiente mais superior nunca se enche suficientemente para superar o atrito do eixo central da roda. Se encher rápido demais, os recipientes irão oscilar durante todo o percurso e não haverá uniformidade nem continuidade no enchimento dos recipientes, de forma que a roda pode diminuir sua velocidade, ou parar ou inverter sua rotação, girando alternadamente para ambos os lados.

O físico Lorenz conseguiu se aproximar da solução do problema através de uma sequência de equações e, nos trabalhos científicos que fez, nada era mais ressaltado do que o “fluxo determinista não periódico”.

Nossos paradigmas científicos determinam que, em condições normais, o cientista ou o pesquisador não é um inovador. Antes de tudo, é necessário solucionar os problemas. E formulamos pesquisas de forma que possamos criar enunciados e gerar respostas, as quais possam ser resolvidas dentro da tradição científica existente. Toda a academia se fundamenta na metodologia científica cartesiana, amplamente difundida, ensinada e executada. Nessa metodologia, praticamente não existe espaço para a formulação de problemas que não possam ser cartesianamente respondidos. A resposta molda a questão. Se não vai haver possibilidade de responder linearmente a uma hipótese, alteramos a hipótese.

Somente aos iniciados que participam de centros de “dinâmica não linear” e atuam em “sistemas complexos” cuja dinâmica se situa mais nos processos de fluxo de matéria e



energia é dado compartilhar da experiência de fugir ao cartesianismo, com todos os graus de liberdade a mais que isso significa. Ora, se temos no ambiente um sistema complexo, é razoável pensar que o próprio estudo ambiente deveria ser per se realizado com o viés da não linearidade, ou teremos sempre do ambiente uma maldita foto amarelada e desfocada, nunca um Rembrandt.

A clássica experiência do pêndulo ensina que quem realiza experiências aprende logo que vivemos num mundo imperfeito. Caro interlocutor, a qualquer momento o pêndulo vai parar, existe um conjunto de fatores além da força gravitacional. Para resolver o problema, seria mais fácil atribuir a falta de solução aos sistemas não lineares. No entanto, o comportamento irregular de sistemas simples age como um processo criativo. Gera padrões de organização variados, tanto estáveis quanto instáveis, finitos ou infinitos, mas sempre construindo sua dinâmica própria. O caos descoberto nas equações meteorológicas de Lorenz, aparentemente tão imprevisível, era muito estável em seu padrão irregular. Era a descrição de um fenômeno natural, muito auto-organizado, criado e regulado por sistemas não lineares, mas completamente estável.

A formação de Benoit Mandelbrot era um homem de formação matemática e, por muito tempo, ele trabalhou na “International Business Machines Corporation”, também conhecida como IBM. Naquela época, os economistas acreditavam que os preços de uma mercadoria como o algodão oscilavam segundo padrões ordenados pelo mercado (lei da oferta e da procura) e, eventualmente, ganhavam contornos aleatórios (vários economistas ganharam o Prêmio Nobel descrevendo teorias de expectativas, como a teoria dos jogos). A distribuição normal ou gaussiana, quando se tratava de vários tipos de fenômenos, era assintótica para algum dos lados e nem sempre as explicações ganhavam contornos lógicos. Quando a situação se tornava muito complicada, a justificativa eram “fenômenos estocásticos aleatórios”.

Muito tempo depois, além de usar argumentos da teoria do caos, ou seja, equações não lineares na exposição do fenômeno, sabemos que, além dos critérios convencionais, existem as externalidades e a sinergia produzida pelos critérios chamados convencionais entre si e as externalidades entre si. E mais a aplicação do princípio das propriedades emergentes à interação dos critérios convencionais com as externalidades, gerando sinergia (uma expressão acadêmica e mercadológica que se popularizou há menos de 20 anos).

Os economistas, estudando fenômenos econômicos que são produzidos por seres vivos e dotados de vontade, assim como os biólogos que também estudam seres vivos e dotados de capacidade volitiva, independentemente da conceituação freudiana de hegemonia de egos ou superegos (estes últimos de especial importância para uma sobrevivência sau-



dável no meio acadêmico), no fundo, estudam realidades evanescentes. E, nessa dimensão, as pequenas e transitórias modificações são capazes de produzir influências que tornam as complexas equações matemáticas descritivas “loopings” freudianos. Principalmente, porque o padrão das pequenas modificações é, muitas vezes, totalmente diverso dos padrões das grandes modificações.

A ideia de holomorfismo, tão bem desenvolvida pelo farmacêutico e geólogo amador escocês James Hutton e aplicada nas geociências com profundos e notáveis resultados (“tudo que ocorre em escala grande ocorre em escala pequena e vice-versa”), começa a não refletir observações da natureza que variam desde os preços do algodão até o tamanho de populações. Em geologia, o princípio do holomorfismo ainda guarda fundamentos explicitados em exemplos inatacáveis. Dobras nas rochas que ocorrem em escalas andinas se reproduzem em escalas de lâminas microscópicas. Mas o mesmo não se pode dizer da economia ou da biologia, que atuam sobre realidades de seres vivos com vontades (ainda que inconscientes em muitos casos) próprias. Em certo aspecto, economia e biologia assemelham-se pela presença, em ambos os campos, de uma certa tendência “evolutiva”, no sentido darwiniano do termo, como fio condutor do processo.

Nesses campos do conhecimento humano, cada vez mais tendem a se expressar realidades não lineares e irregulares, mas muito estáveis, que desafiam uma comunicação matemática e linguística capaz de expressar e descrever adequadamente tais fenômenos.

A complexidade se expressa em caleidoscópios de fenômenos. As variações, nas curvas dos fenômenos regidos pela interação entre propriedades biológicas e vontade psicológica, seja em populações de plantas e animais, seja em curvas de ações de bolsas, e as propriedades emergentes que advêm da interação entre variáveis biológicas e variáveis psicológicas, como expectativas, têm características de regularidade e estabilidade não lineares e com equilíbrio próprio.

A trajetória de Benoit Mandelbrot, mesmo inserida num contexto tradicional e ortodoxo, representado pela instituição onde trabalhava (a IBM), sempre teve um contexto classificado como “marginal”, adotando uma abordagem “não ortodoxa” identificada como pouco elegante pela matemática pura. Sua característica multidisciplinar, atualmente tão elogiável, há poucas décadas atrás, era interpretada como pouco comum. Mandelbrot investigava disciplinas muito variadas e precisava dissimular suas ideias, para conseguir publicar seus artigos. Fez incursões em campos como economia e administração, mas, na época, deixou um rastro de ideias paradoxais e de fundamentação incompreendida ou mesmo discutível.



Mandelbrot nasceu em Varsóvia, na Polônia, vindo de uma família judia da Lituânia. Tinha uma notável intuição geométrica. Ainda jovem, compreendeu que, diante de qualquer problema, podia refletir sobre ele de alguma forma em sua mente. Tinha dificuldades em física e química, nas quais não podia aplicar a geometria. Mas sua capacidade nessa área era tamanha que participou de um grupo muito ortodoxo de matemáticos franceses, chamado de “Bourbaki” (em homenagem ao nome de um general francês), que se formou preocupado em retomar o rigor científico na matemática, em reação às ideias de Poincaré, que dizia: “Sei que está certo, então para que provar”.

Esse grupo chegou à ortodoxia máxima, quando acreditou que a matemática devia ser algo em si própria. Mas, paradoxalmente, com essa autossuficiência, adveio a clareza. Todavia, frequentemente, as ciências, por lidarem com fenômenos naturais, na maioria das vezes, deparavam-se com decisões complicadas. Ou seguiam caminhos matematicamente possíveis ou caminhos de dificuldades na aferição matemática de fenômenos, mas que pareciam mais interessantes sob a dimensão da compreensão da natureza.

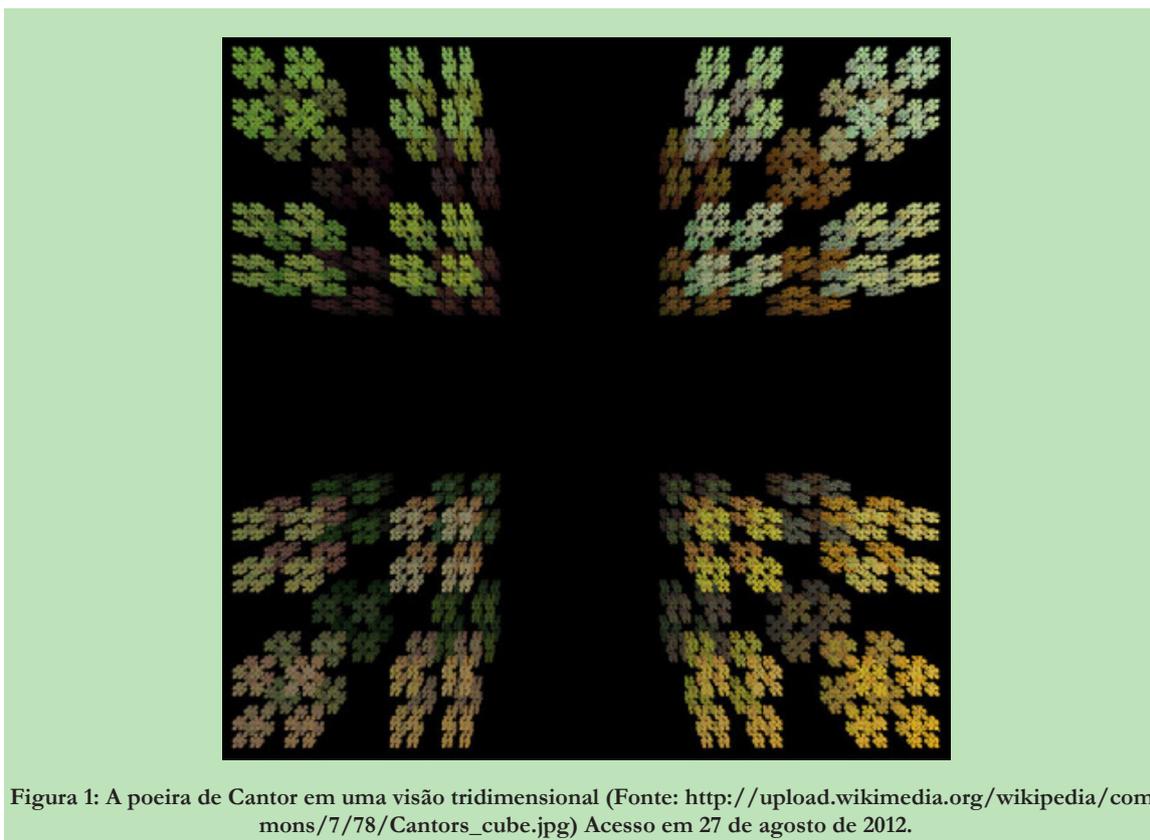
Frequentemente, as “externalidades” criavam “ruídos” em equações, ou erros matemáticos. A ortodoxia tradicional tendia a eliminar esses dados que não se enquadravam em equações. Mas as influências das ideias de que havia padrões de ordenação que não são lineares e não podem ser enquadrados, mesmo em procedimentos matemáticos complexos, trouxeram nova dimensão à visão do mundo.

E, então, princípios de comprovação real, na biologia ou na geologia, e que interagem entre si e dificultam interpretações lineares, podem ser citados: as propriedades emergentes, a lei dos mínimos de Liebig, as transições de contato entre rochas, que podem ser muito bruscas ou muito suavemente gradacionais, além de outros.

Partindo quase de “charadas” matemáticas, Mandelbrot começou a raciocinar mentalmente sobre situações naturais. Ele começou com a teoria dos conjuntos, de Cantor, assim denominada em homenagem ao seu descobridor, o matemático Georg Cantor.

Para fazer um conjunto de Cantor, começamos com um intervalo entre 0 e 1, representado por um segmento de reta. Eliminamos, então, o terço médio. Isso resulta em dois segmentos. Novamente, retiramos o terço médio e assim sucessivamente. O resultado é uma estranha poeira de pontos, que obedece a um padrão não linear (Figura 1).





Na época, Mandelbrot trabalhava em “ruídos” que interferiam na transmissão de dados para os computadores da IBM. Ele pensava nos erros de transmissão como uma espécie de conjunto de Cantor disposto no tempo. No entanto, ele logo entendeu que os padrões apresentados indicavam que os ruídos, nas transmissões de dados, jamais seriam explicados com base em acontecimentos locais específicos.

Então, ele se inspirou nos dados de cheias do rio Nilo, pois os egípcios mantêm há milênios registros das enchentes do rio Nilo. Esse rio sofre variações excepcionais, subindo muito em alguns anos e baixando em outros. Mandelbrot propôs dois efeitos com base em estudos sobre esses fenômenos.

Denominou de “efeito Noé” a descontinuidade: quando uma quantidade se altera, pode-se modificar de uma maneira muito rápida, como um dilúvio. Os economistas, baseados nas variações de quantidades e nas leis de oferta e procura, imaginaram sempre que os preços das mercadorias sobem ou descem com certa suavidade, sem saltos, no sentido de que passam por todos os níveis intermediários entre um ponto e outro. Mas, muitas vezes, isso não ocorre. Os preços podem variar em saltos instantâneos. Porque entra um fator volitivo, da vontade humana, mas que ocorre nos seres vivos em geral: a expectativa.



Mandelbrot denominou de “efeito José” a persistência dos dados. Pela análise de dados históricos, ele observou que as cheias e as secas do rio persistem. Apesar de uma aleatoriedade subjacente, quanto mais prolongada a seca, mais longa ela tende a se tornar. O mesmo ocorre com as cheias, quando analisadas em sequências históricas. Os efeitos Noé e José pressionam em diferentes direções, mas se resumem nisto: a natureza tem tendências, e elas são reais, mas sempre transitórias.

As discontinuidades, em geologia, são bem conhecidas. Tendem a ser contatos abruptos entre rochas ou contatos transicionais. Nesse sentido, guardam extrema similaridade com as propostas de Mandelbrot. E, de certa forma, guardam analogias com os ruídos que ocorrem nas transmissões de dados ou na abstração de Cantor. Fenômenos como esses não eram mencionados na geometria dos últimos milênios. As formas geométricas clássicas são o ponto, as linhas, os planos, os círculos, as esferas, os triângulos e cones. Essas imagens representam significativas abstrações da realidade e inspiraram, no decorrer da história, relevantes pensamentos epistemológicos, como as harmonias platônicas.

Artistas de todos os tempos, como Leonardo da Vinci, reconheceram, nessa harmonia, abstrações da beleza ideal, os astrônomos ptolomaicos construíram, a partir dessa harmonia, modelos de universo. Porém, para compreender a complexidade, essas formas se revelam um tipo inadequado de concepção. Vide os conflitos internos vividos por Newton ou Kepler, ao verificar o paradoxo entre seus achados sobre as leis de gravitação e suas concepções católicas de origem e organização da natureza.

Em muitos aspectos, o conceito geral de epistemologia, nos vários campos científicos, desde os gregos até o século XX, esteve em muito assentado na formação de cunho moral, político, econômico religioso ou social, que vai contra ou se assombra facilmente com a areia movediça que representa qualquer concepção não linear ou não cartesiana de construção do conhecimento.

As nuvens não são esferas. As montanhas não são cones ou quadrados. Os relâmpagos não percorrem linhas retas. A geometria da natureza não é como os geômetras clássicos construíram. A geometria da natureza espelha um universo que não é regular. Existem reentrâncias, depressões, fragmentos, irregularidades, formas torcidas e entrelaçadas.

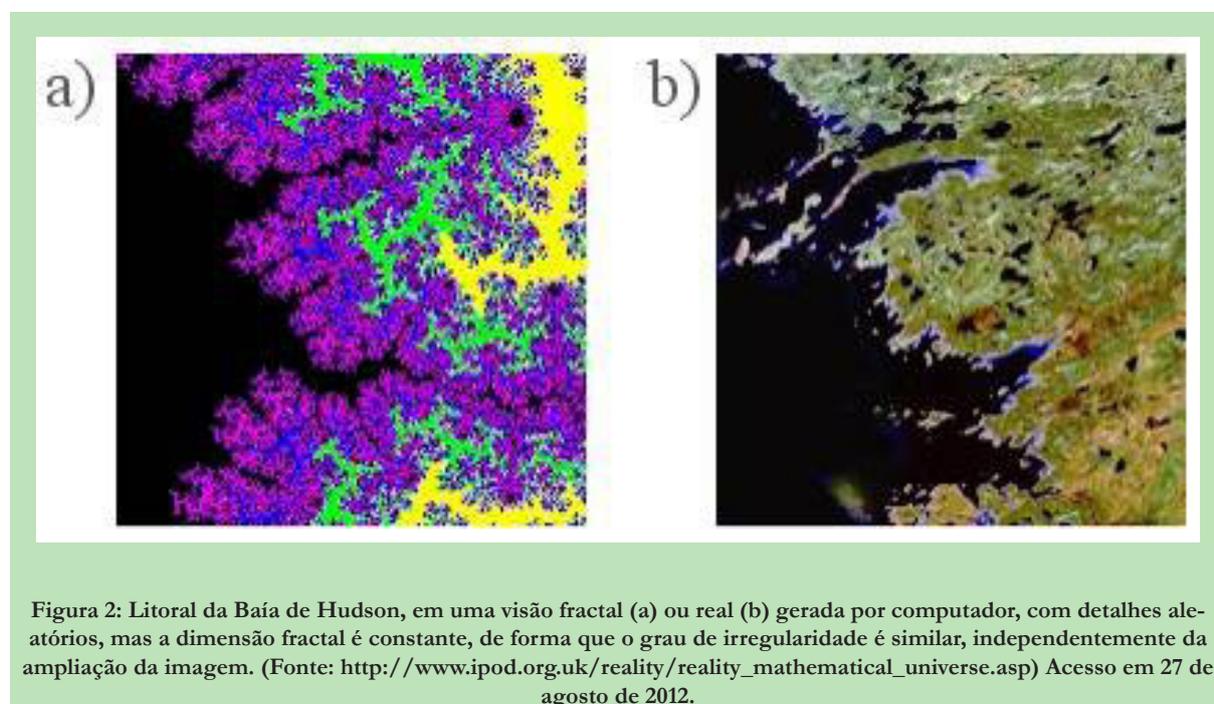
Essas formas irregulares não são imperfeições das formas clássicas. Significam geometrias relevantes que se encontram muito mais próximas da essência dos fenômenos, processos e objetos naturais do que qualquer forma harmoniosa da geometria clássica.

Mandelbrot tomou contato com a questão da linha litorânea da Grã-Bretanha. Observou que a forma da agrimensura clássica respondia com aproximações muito próximas da realidade, mas não conseguia esgotar a medida. Tudo depende de quanto é a distân-



cia mínima que o agrimensor arbitra para si próprio como distância mínima a considerar. Quanto menor for essa arbitragem, mais próxima da realidade será a medida. A observação do litoral a partir de imagens de satélite obterá resultados mais exatos. Uma medição de campo ainda será mais precisa. Isso tudo leva à discussão da relação entre observador e objeto, que é a questão básica da ciência até hoje. A investigação de fenômenos naturais frequentemente esbarra na complexidade de fatores envolvidos e nas relações entre eles e as propriedades emergentes que podem advir, formando novas sinergias e mesmo novos fatores influentes. Então, é muito útil o conceito de fractal, que, acima de tudo, significa autossimilaridade. E lembra os conceitos tão arraigados na geologia trazidos desde os tempos do pioneiro James Hutton: o holomorfismo e o uniformitarismo já apresentados. Racionar que as coisas possam ser autossimilares não deixa de guardar íntima relação com o holomorfismo: as estruturas dúcteis, em pequenas escalas, também podem ocorrer em grandes escalas. As rúpteis também. E o uniformitarismo: tudo que acontece agora de uma forma acontecia antes da mesma forma, até prova em contrário.

Se o litoral fosse uma medida euclidiana, como um círculo, a soma de retas com extensão cada vez menores tenderia a uma precisão que tende ao infinito. Todavia, à medida que a proporção da escala de medição for menor, a extensão medida de litoral aumentará ilimitadamente. Baías e penínsulas revelam sub-baías e penínsulas cada vez menores, num processo infinito, quase sem conclusão. A Figura 2 exhibe este litoral “fractal”.



No distante ano de 1975, Mandelbrot julgou que precisava de um nome para essas formas geométricas diferentes. O filho do cientista estava chegando da escola e, por algum motivo, ele folheou o dicionário de latim dele. Encontrou o adjetivo *fractus*, do verbo *frangere* (quebrar fraturar), que logo associou com os cognatos ingleses *fracture* e *fraction*. Isso lhe pareceu adequado e ele criou o neologismo *fractal*.

Evidentemente que retornamos à questão básica da ciência desde os primórdios da Grécia clássica. Tudo depende da relação entre observador e objeto observado. Dessa forma, o fractal, mais do que representar qualquer imprecisão natural, representa uma nova ideia sobre o problema das dimensões. A dimensão fracionada torna-se uma maneira de medir propriedades geométricas (e, depois, naturais, econômicas ou de diversas naturezas) que precisam previamente desta definição: grau de aspereza ou de fragmentação.

Para a imaginação, um fractal é uma maneira didática de ver o infinito. Holisticamente, mas sempre através da influência de Mandelbrot, ou seja, de um ponto de vista inicialmente e sempre geométrico. Vamos imaginar a construção dos flocos de neve de Koch.

É claro que eles partem da geometria diferenciada. Cabe destacar que não estamos advogando que o padrão de (des)ordem da natureza seja pautado pela geometria inspiradora de Mandelbrot. É claro que não é. Mas o que buscamos conceber e transmitir é que, claramente, a natureza tem um padrão na sua aparente desordem. Tem um padrão e uma estabilidade homeostática. E que, em alguns casos, esse padrão é representado pela geometria inspiradora de Mandelbrot.

Outras vezes, pode ser configurado nos sistemas complexos de equações de Robert May. E, em outras vezes, o padrão existe, mas não consegue ser representado nem através de novas geometrias, nem através de sistemas complexos de equações não lineares. Mas nem por isso deixa de existir e, principalmente, de ser regular e homeostático, apesar da sua aparente irregularidade.

Koch imaginou, inicialmente, uma reta; para simplificar a compreensão, vamos adotar o comprimento de 90cm em cada lado. Vamos imaginar que essa reta seja dividida em três partes iguais e demarcamos o terço central em cada lado. Nessa porção, criamos um novo triângulo idêntico, mas com um terço do comprimento do triângulo inicial (Figura 3). O resultado é similar a uma estrela de Davi.



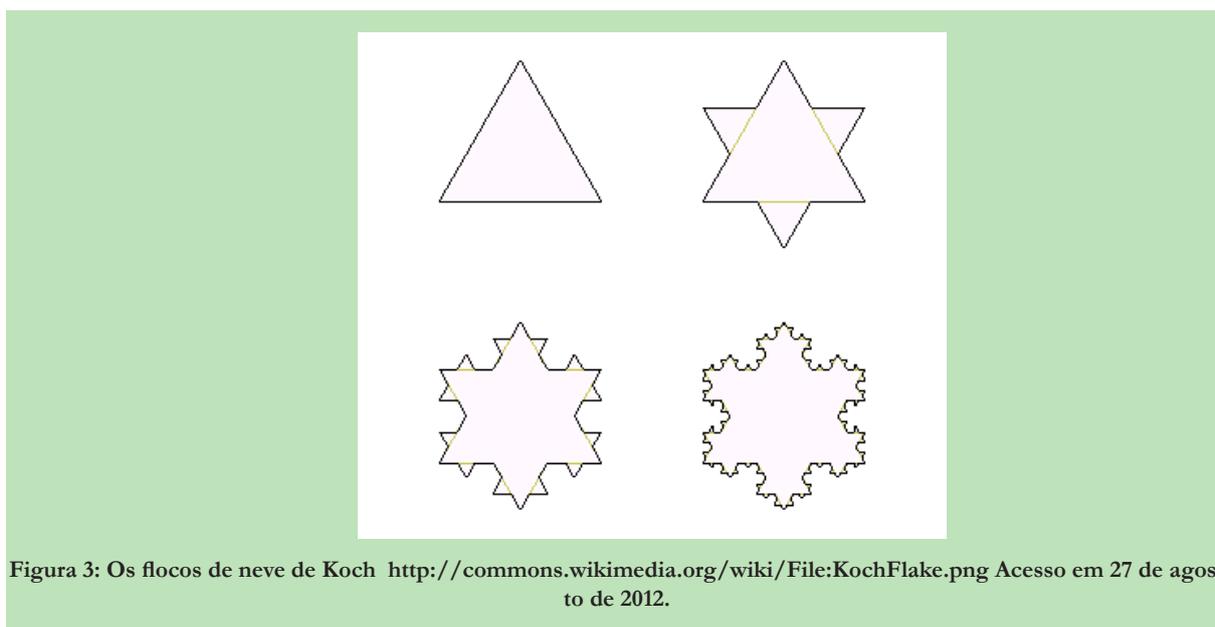


Figura 3: Os flocos de neve de Koch <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:KochFlake.png> Acesso em 27 de agosto de 2012.

Poderíamos observar novamente que as religiões orientais têm grande percepção para sentir e representar fenômenos naturais. Os hindus, através de "shiva", deusa da dança, tiveram suas crenças imortalizadas pela interpretação de Fritzjof Kapra na teoria do "bootstrap", em que a dança da natureza foi comparada com a física atômica e a teoria quântica. O zen budismo, através de sua notável arte de "hai kais", inspira-se em fenômenos naturais como para a espécie de "silogismo" poético que traduz algum comportamento ou sentimento humano. Os muçulmanos, de forma quase simplória e popular, mas nem por isso menos simbólica, declaram solenemente que, se Maomé não vai à montanha, a montanha vai a Maomé. E esses são apenas singelos exemplos.

Certamente, para uma parcela considerável da humanidade, a estrela de Davi tem uma interpretação mais ampla é até poética do que a simples geometria que apresenta, e quem conhece um pouco a "torá" ou a cabala judaica tem certeza disso.

Medir todas as estrelas de Davi sucessivamente formadas aproxima-se de uma curva, que, na verdade, não é uma curva, é formada de infinitas retas cada vez menores. Mandelbrot acreditava que os desenhos dos litorais se aproximassem de formas dessa natureza. Uma linha reta euclidiana que se estende na borda de um universo praticamente ilimitado.

O cérebro humano, de alguma forma, parece ser limitado, para visualizar toda a capacidade infinita que a complexidade (ou a não linearidade) é capaz de autorrealizar. E, nesse sentido, realçamos a influência que existe na educação cartesiana ou não cartesiana e nas influências religiosas orientais – que parecem estar mais próximas da compreensão de fenômenos naturais – e ocidentais.



Quem já estudou mitologia grega e religiões ocidentais sabe que as diferenças não são simples. Começam por uma ideia e uma concepção extremamente singela. Os gregos imaginavam os deuses à imagem e semelhança dos homens e as religiões católicas ocidentais partem da premissa de imaginar os homens à imagem e semelhança dos deuses. Não parece, mas isso faz toda a diferença. E tem tudo a ver com a concepção ocidental de que o que não cabe nas equações lineares (retas ou oscilatórias) ou complexas são dados irregulares e incapazes de sofrer tratamentos.

Para nossa civilização ocidental, o que não for cartesiano e não for capaz de se inserir em alguma forma clássica de geometria ou equação é classificado como irregular. Este texto é um esforço para transmitir novas concepções sobre o tema. O que parece irregular, na verdade, tem um padrão, tanto na irregularidade aparente como na regularidade semântica que possa ter. Esse padrão é o que chamamos (des)ordem da natureza. É aparente desordem. Mas é ordem. Pode ser um padrão de irregularidades ou um padrão regular. Pode ser descrito de forma linear ou apenas em equações não lineares, em sistemas dinâmicos em que o fluxo de matéria e energia é hegemônico sobre os estados.

A ideia de fractal ou dimensão fracionada mostrou-se muito adequada para a explicitação geométrica dos fenômenos. Em certo sentido, o grau de irregularidade corresponde à eficiência do objeto na ocupação do espaço ou, segundo as descrições da química mais moderna, a possibilidade de existência de uma partícula num determinado ponto não passa de probabilidade. Num certo sentido, guarda analogia com uma afirmação comum para Mandelbrot. Ele dizia que a intuição não era uma característica inata dos seres, mas era uma propriedade treinada.

Observamos toda uma evolução conceitual, partindo dos preços do algodão, passando pelos ruídos nas transmissões eletrônicas e nas hipóteses com as cheias do rio Nilo, até desaguar em teorias sobre as populações, na biologia, e tentativas de mensurar expectativas em economia. Esse tema evoluirá muito e este texto tem consciência de que é apenas uma introdução que pode trazer novas inspirações e novos caminhos para muitos que sejam desprovidos de preconceitos e adotem novas posturas científicas entre o observador e o objeto observado.

A autossemelhança, assim como o holomorfismo, não deixa de ser uma simetria entre diferentes escalas. Significa recorrência, ou seja, um mesmo padrão se reproduzindo em tamanhos diferentes. Suas imagens ocorrem por toda parte, no reflexo infinitamente profundo de um objeto entre dois espelhos ou na concepção quase caricatural de tantos desenhos animados, nos quais um peixe maior come um peixe menor e assim indefinida-



mente. Os naturalistas gostam de contar um aforisma sobre pulgas, em que sempre existem pulgas menores que atormentam as maiores, infinitamente.

De certa forma, as ideias da geometria fractal sempre foram sintetizadores e reuniram grupos de cientistas que nunca conseguiram encontrar, em equações lineares, respostas para suas ansiedades, quando elas pareciam caminhar em direção a axiomas absolutos.

Os padrões de terreno encontrados pelos mais diversos tipos de geofísica, utilizados para mapear terrenos em busca de petróleo, gás, água subterrânea ou outros tipos de materiais, sempre instigaram os geofísicos, os quais, frequentemente, enxergavam irregularidades, mas com formatos repetidos, que não deixavam dúvidas sobre a existência de padrões, embora não fossem convencionais.

Na metalurgia, que usa muito a microscopia de diversas naturezas, é conhecido que a dimensão fractal da superfície de um metal proporciona, com frequência, informações que são associadas a uma espécie de vigor do metal.

E os contatos entre superfícies parecem ter propriedades totalmente independentes dos materiais usados. Tal como os contatos bruscos ou gradacionais entre as rochas de qualquer tipo. Contatos bruscos indicam súbita mudança de ambiente deposicional entre rochas sedimentares, em geral, associados à ocorrência de movimentos tectônicos, que sempre são importantes, modificadores e bruscos (como vulcões e terremotos em zonas de criação entre placas tectônicas ou zonas de subsidência, como a placa de Nazca sendo consumida pela placa continental sul-americana no Chile, motivo da existência dos Andes). E contatos gradacionais nas rochas sedimentares significam mudanças lentas no ambiente deposicional, mais associadas a alterações climáticas.

Existem três tipos principais de grupos de rochas: ígneas que podem ser plutônicas, quando intrudidas e resfriadas em profundidade, ou vulcânicas, quando extrudidas e resfriadas em superfície. Rochas sedimentares que podem ser pelíticas, quando formadas por litotipos de granulometria fina, e psamíticas, quando formadas por rochas de granulometria grosseira. E rochas metamórficas, que podem ser de baixo grau, quando sofrem aumentos de pressão e temperatura em pequena profundidade, e de alto grau, quando são submetidas a elevações de pressão e temperatura em maior profundidade. Existe um tipo de rocha metamórfica denominada cataclástica, associada aos grandes fenômenos tectônicos responsáveis pela geodinâmica terrestre.

O planeta Terra é tão vivo em sua organização quanto qualquer animal ou planta. Apresenta apenas outra escala de tempo para sua existência. Se pudéssemos perguntar para uma borboleta, animal que vive poucos dias, se uma sequoia que vive milênios, está viva, ela diria que não, pois vive toda sua vida e não vê nenhuma evidência de alteração na sequoia



sequoia que indique presença de vida. Mas todos nós temos absoluta certeza de que a árvore está viva e, possivelmente, induzindo um grau razoável de desorganização à sua volta, para se manter nessa condição.

Se perguntarmos a um ser humano, que vive em média de 60 a 90 anos, se a Terra está viva, ele dirá que não, pois viveu toda sua vida na Terra e não viu nenhuma evidência de vida. Mas a Terra tem em torno de 4,5 a 5 bilhões de anos. Os continentes sofrem movimentos da ordem de 2 a 7 cm/ano. Esses movimentos são imperceptíveis para quem está vivendo sobre os continentes.

O meio físico representa o substrato físico do planeta, onde a vida se desenvolve. O grande diferencial, no estudo do meio físico, é o fator tempo. O Terraplaneta Terra tem aproximadamente 4,5 a 5 bilhões de anos. Para medir o tempo geológico, são utilizados elementos radioativos contidos em certos minerais. Esses elementos são os relógios da Terra, pois sofrem um tipo especial de transformação que se processa em ritmo uniforme. Por esse processo chamado radioatividade, algumas substâncias se desintegram, transformando-se em outras. Medindo as duas substâncias na rocha, podemos saber, com precisão, a idade.

A Terra atrai os corpos pela força da gravidade e pela força magnética. Essas forças variam de acordo com o local devido a diferenças superficiais e profundas nos materiais que constituem a Terra. Essa análise permite interpretar o subsolo da Terra.

Pela teoria mais aceita, estima-se que a formação do sistema solar teve início há seis bilhões de anos, com a contração das nuvens gasosas da Via Láctea. A poeira e os gases dessa nuvem aglutinaram-se pela força da gravidade e, há cerca de 4,5 a 5 bilhões de anos atrás, formaram-se várias esferas, as quais giravam em torno de uma esfera maior de gás incandescente que deu origem ao sol.

As esferas menores formaram os planetas, dentre eles, a Terra. Devido à força da gravidade, os elementos químicos mais pesados, como o ferro e o níquel, concentraram-se no núcleo, enquanto os mais leves, como o silício, o alumínio e os gases, permaneceram na superfície. Esses gases foram, em seguida, varridos da superfície do planeta por ventos solares.

Antigamente, dizia-se que o meio físico não tinha vida, mas, após a tectônica de placas, fica sem sentido dizer que a Terra é inanimada. A Terra pode ser comparada com um ovo. Um ovo tem gema, clara e casca, enquanto a Terra tem um núcleo central equivalente à gema, uma porção intermediária denominada manto, que equivale à clara do ovo, e uma última porção externa, chamada crosta, que equivale à casca do ovo.

Assim, foram sendo separadas as camadas com propriedades químicas e físicas distintas no interior do globo terrestre. Há cerca de quatro bilhões de anos, formou-se o núcleo,

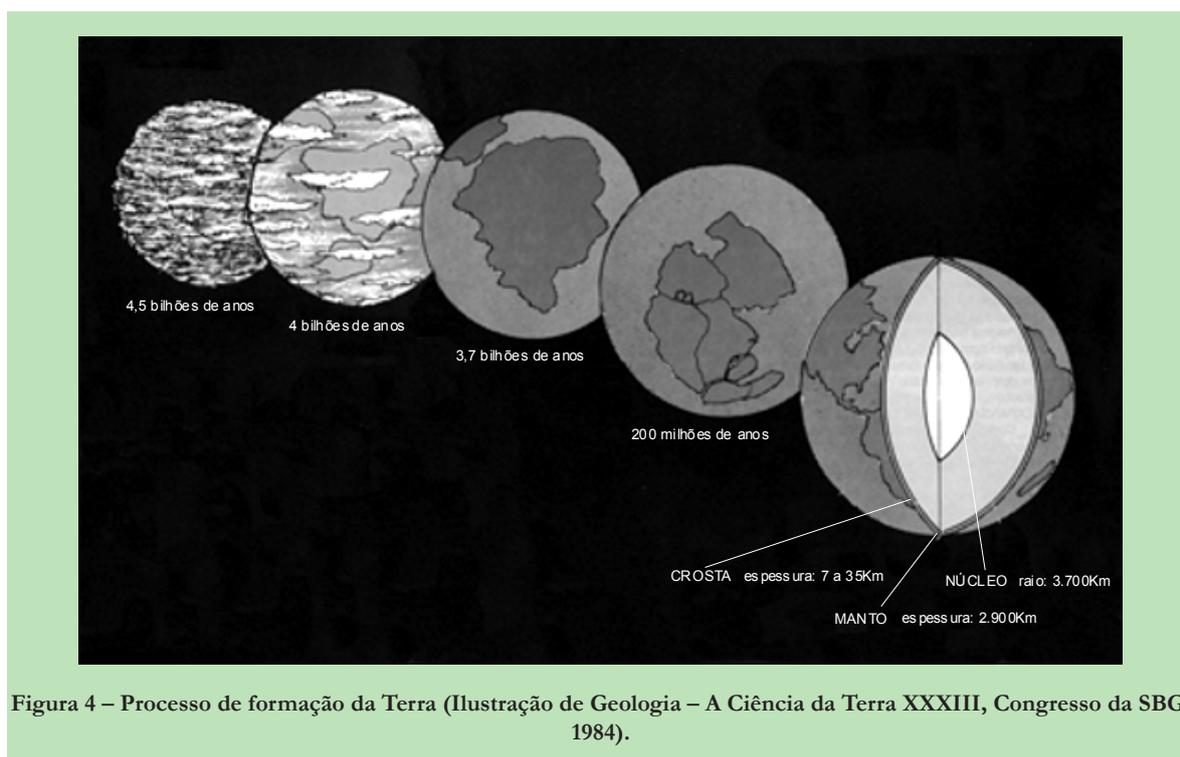


constituído por ferro e níquel no estado sólido, com um raio de 3.700 km. Em torno do núcleo, formou-se uma camada denominada Manto, que possui aproximadamente 2.900km de espessura, constituída de material em estado pastoso, constituída por silício e magnésio.

Após, cerca de quatro bilhões de anos atrás, gases do manto se separaram, formando uma camada ao redor da Terra, denominada Atmosfera, com características muito semelhantes às atuais.

Na última fase, cerca de 3,7 bilhões de anos atrás, solidificou-se uma fina camada de rochas denominada crosta, a temperatura ficou inferior a 100° C e os oceanos se formaram. Esse material formador da crosta não é homogêneo. Embaixo dos oceanos, há, aproximadamente, 7 km de espessura, e eles são constituídos por rochas de composição semelhante ao manto, de composição ferro-magnesianiana. Nos continentes, a espessura da crosta aumenta para 30 a 35 km, sendo composta por rochas formadas por silício e alumínio e, portanto, mais leves que nos fundos de oceanos.

Na Figura 4, observamos um esquema de formação da Terra, com um corte no interior da Terra.



As transformações da Terra são causadas por movimentos que ocorrem na sua estrutura, que comparamos a um ovo. No núcleo da Terra, em função do decaimento radioativo dos elementos químicos, ocorre grande produção de calor. Essa energia produz correntes de convecção no manto da Terra. Tais correntes produzem lavas nas margens de constru-



ção de continentes, que movimentam as placas continentais, subaéreas ou subaquáticas.

As correntes de convecção no Manto, produzidas pelo aquecimento a partir do Núcleo, movimentam os continentes num processo denominado DERIVA CONTINENTAL.

O estudo do fundo do oceano Atlântico mostrou a existência de uma enorme cadeia de montanhas submarinas, formadas pela saída de magma do manto. Esse material entra em contato com a água, resfria, torna-se sólido e dá origem a um novo fundo submarino, à medida que cresce, empurra o continente africano para leste e o continente americano para oeste, por exemplo. Esse fenômeno é conhecido como expansão do fundo oceânico e ocorre nas chamadas margens construtivas de placas.

Esse mesmo processo ocorre em outras partes do planeta e faz com que os continentes se movimentem como objetos em uma esteira rolante. Para compensar a criação de placas na margem construtiva, ocorre a destruição de placas nas chamadas margens destrutivas, onde as placas se chocam e as rochas de suas bordas sofrem enrugamentos e dobras sob condições de altas temperaturas e pressões, originando terremotos, dobramentos e falhamentos.

O exemplo mais conhecido, em função de sua ampla divulgação pela imprensa, é a “San Andreas Fault” na Califórnia.

Com base nesses estudos e considerando as datações radiométricas, imagina-se que os continentes da Terra estivessem agrupados há cerca de 200 milhões de anos atrás numa massa continental denominada Pangea. Então, movidas pelo processo de dinâmica interna, as placas teriam se movimentado lentamente, com a razão mínima de 2 cm/ano a 7 cm/ano até atingir a situação atual.

Na Figura 5, é possível observar a evolução da posição dos continentes em função dos processos de espalhamento de fundo oceânico e deriva continental.

As falhas transformantes ocorrem no interior das cadeias meso-oceânicas, nas quais os magmas são extrudidos no fundo do mar e formam as rochas vulcânicas basálticas.

As dobras e falhas, juntamente com os terremotos, dão origem a grandes cadeias de montanhas, como os Andes, os Alpes e os Himalaias.

O movimento das placas é causado pelo vulcanismo, que se origina pela saída de rochas fundidas, denominadas Magmas, nas fissuras meso-oceânicas das denominadas margens criativas ou de construção.



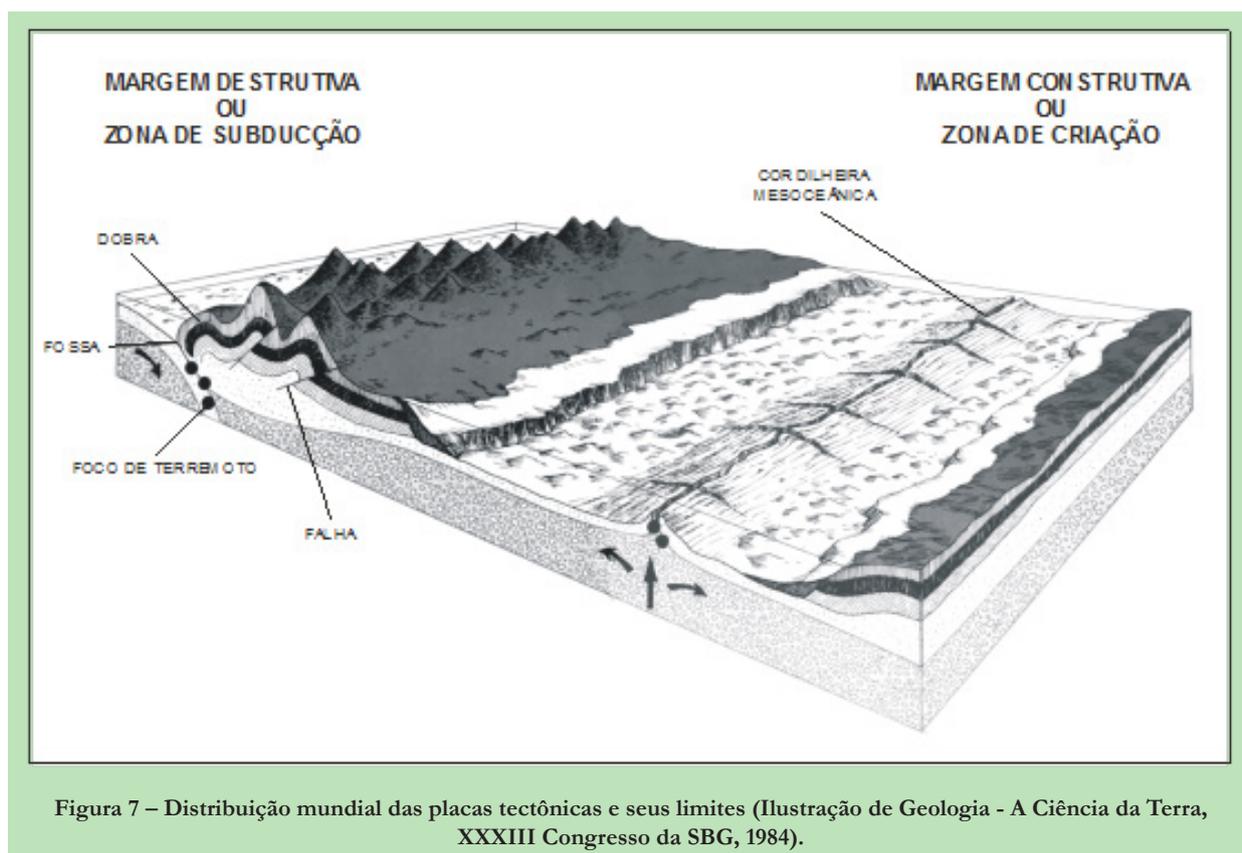


No Brasil, também ocorrem terremotos e vulcões. Os terremotos são muito raros e de pequena intensidade e somente são encontrados restos de vulcões extintos. Isso ocorre devido à localização do Brasil, que se situa distante das margens construtivas ou cadeias meso-oceânicas e longe das margens destrutivas ou zonas de subducção ou colisão.

As geometrias apresentadas pela formação das rochas e pelas relações entre si parecem, frequentemente, desordenadas ou irregulares. Mas é possível descrever muitas dessas formações e relações com incrível reprodutibilidade, ou seja, com regularidade que lembra padrões, ainda que os eles não pertençam a geometrias euclidianas ou lineares e mesmo que não se compreenda integralmente a funcionalidade que representam.

A tectônica de placas ou geodinâmica é uma teoria tão aceita e tão consensual que sua inclusão, dentro desta discussão, objetiva apenas ressaltar analogias e, de certa forma, aumentar a credibilidade das comparações que inspiram todo o texto.

Na Figura 7, observamos a distribuição mundial das placas tectônicas e seus limites (cordilheiras, fossas e falhas transformantes).



Rochas ígneas de qualquer natureza sempre têm contatos bruscos entre si e com rochas sedimentares. Quando têm contatos com rochas metamórficas de baixo grau, eles sempre são bruscos. Quando têm contato com rochas metamórficas de alto grau, eles são gradacionais e difusos, é um “continuum” que lembra a capilaridade dos vasos sanguíneos. Os vasos sanguíneos, da aorta aos capilares, ramificam-se, dividem e voltam a ramificar-se até se tornarem tão estritos que os glóbulos sanguíneos são forçados a deslizar em fila indiana.

A natureza dessa ramificação é fractal. Sua estrutura se assemelha a um contato entre rochas ígneas plutônicas (de profundidades) com rochas metamórficas de alto grau, pois ambas ocorrem na mesma profundidade crustal. Os contatos de uma rocha denominada migmatito, que nada mais é do que a mistura de gnaisses (rochas metamórficas de alto grau) com granitos (rochas ígneas plutônicas), apresentam geometria perfeitamente igual aos vasos sanguíneos se diluindo no interior de tecidos, numa geometria que, dificilmente, conseguiria ser representada por equações lineares.

Essa estrutura fractal que a natureza imaginou, opera com enorme eficiência nos tecidos animais e vegetais e deve ter a mesma função nas rochas, embora, aparentemente, essa funcionalidade ainda não tenha sido bem descrita nem bem-interpretada em seus objetivos. Nos vasos sanguíneos, a medicina afirma que nenhuma célula está a uma distância maior de três ou quatro células de um vaso sanguíneo.

Na transição gradual de um tipo de artéria para outro, é por vezes difícil classificar a região intermediária. Algumas artérias de calibre intermediário têm paredes que sugerem artérias maiores, enquanto algumas artérias grandes têm paredes como as transmissoras de tamanho médio. Há toda uma região de transição gradacional, que é comumente descrita como de “artérias mistas”. No caso dos seres vivos, sabemos exatamente a função; no caso das rochas, os motivos ainda são especulativos. Mas, em ambos os casos, representam padrões, nem tão irregulares, com notável princípio de ordem, mas que, certamente, não são facilmente descritos em termos de equações lineares.

O mesmo pode ser dito do sistema coletor urinário, que se revela fractal desde o canal biliar no fígado. Os batimentos cardíacos, como certos tremores de Terra ou certas sequências de dados econômicos, também se revelam fractais em muitos aspectos. A melhor definição parece ser a de um labirinto de trilhas que se ramificam e organizam-se para ser idênticas a si mesmas, em escalas cada vez menores.

Mandelbrot dizia que as complicações só existem no contexto da geometria euclidiana tradicional, que não consegue representar esses fenômenos (GLEICK, p. 104).



O DNA não pode especificar o vasto número de brônquios, bronquíolos e alvéolos, mas pode determinar o processo de repetição da bifurcação que resulta numa determinada geometria. Uma de cunho fractal, em essência. A biologia moderna avança no sentido de especular que a escala fractal não era apenas comum, mas universal em morfogênese. A forma com que esses padrões são codificados é um dos grandes desafios da moderna biologia.

Rochas sedimentares com rochas ígneas quase sempre têm contatos bruscos, pois representam ambientes tectônicos sempre diversos e condições de formação diferenciadas que raramente interagem entre si.

Da mesma forma, em sua estrutura física ampla, os animais e as plantas estão muito presos à ideia de escala. É fácil imaginar um ser humano com uma escala que seja o dobro do seu tamanho e teremos imaginado uma estrutura cujos ossos desabarão sob o próprio peso.

Os terremotos, frequentemente, guardam diferenças de escala, porque respeitam os princípios do holomorfismo de James Hutton, embora muito se discuta sobre a funcionalidade disso, para que serve. Mas esse fenômeno é semelhante à capilaridade dos vasos sanguíneos, desde os maiores até os menores, que têm função de capilarizar o sangue que vai alimentar as células.

Da mesma forma, as nuvens vistas da janela de um avião parecem randômicas e, quando observadas em imagens de satélite que guardam distância maior, frequentemente, parecem exibir padrões fractais, vale dizer, ordenados em sua aparente irregularidade.

Os furacões formam outro “continuum”, como a irrigação sanguínea em vasos cada vez tão menores que permitem às células ter acesso aos nutrientes. Não existe diferença de natureza entre uma pequena ventania e um grande furacão. É certo que as condições meteorológicas influenciam muito na transformação da ventania em furacão, mas os extremos do “continuum” formam uma só peça com o meio.

A abordagem fractal abarca toda a estrutura em termos das ramificações que a produzem e comporta-se de forma análoga e independente da escala. De certa forma, a natureza é muito próxima disso, tanto em seu meio físico quanto biológico. E, como o meio ambiente são as relações naturais entre os meios físico, biológico e antrópico, podemos usar uma analogia para afirmar que as relações, no meio ambiente, tendem a responder, de forma mais adequada, a essa abordagem.

O homem, como animal, faz parte do meio biológico. Mas, devido à sua grande capacidade de interferência nos outros meios, recebe um meio diferenciado, cuja grande característica foi descrita pelo geólogo Ter Stepanian. Produz suas profundas intervenções de engenharia, com a finalidade de patrocinar a ocorrência de vida gregária e a melhoria de qualidade de vida em todo tipo de ambiente e, com isso, impacta significativamente o meio natural.



A palavra “fractal” começou a sintetizar uma forma de descrever, calcular e pensar as formas aparentemente irregulares, fragmentadas, recortadas e descontínuas. Uma curva fractal significa uma estrutura organizadora escondida atrás da complicação inerente a essas formas aparentemente irregulares.

Robert May e James Yorke, trabalhando com populações ordenadas e caóticas, encontraram regularidades que só se deixavam descrever em termos escalares. Qualquer semelhança com os princípios holomórficos seculares de James Hutton não é mera coincidência.

O holomorfismo permanece enquanto a autossemelhança desapareceu como princípio científico, porque não conseguia abranger os fenômenos naturais por completo. Por exemplo, espermatozoides não apenas eram geradores de embriões humanos em pequena escala, como eram muito mais interessantes do que isso, o desenvolvimento ontogênico é mais abrangente do que a simples ampliação. Entretanto, originalmente, em sistemas que pareciam não ter regras, a aparente mudança de escala significava que alguma característica estava sendo preservada enquanto o restante se alterava.

Na biologia evolucionária, a ideia de auto-semelhança tão próxima ao princípio do holomorfismo do farmacêutico e geólogo amador escocês James Hutton, começou a se tornar claro que uma teoria completa teria que identificar padrões de desenvolvimento em genes, em organismos individuais, bem como em espécies e em famílias de espécies ao mesmo tempo.

A natureza organiza-se, frequentemente, em formas complexas, mas amplamente codificadas nos genes. As formas representam processos dinâmicos em formas físicas e combinações específicas de ordem e aparente desordem (ordem em uma figuração geométrica não euclidiana). Ambas geneticamente padronizadas e reproduzidas. Lembre-se: um indivíduo de uma espécie que você vê em um jardim ou ao espelho nada mais é que o meio caminho entre duas espécies diferentes do passado e do futuro, mas essa fluidez do conceito de espécies é tema para uma discussão que perpassa os objetivos deste livro.

A analogia da circulação sanguínea com princípios da turbulência e da mecânica dos fluidos rendeu muitos trabalhos. A turbulência é uma porção de desordens em todas as escalas, desde pequenos redemoinhos até grandes conturbações instáveis, aparentemente dispersivas e antigamente interpretadas como aleatórias. Quando o escoamento é suave ou laminar (lembrar a utilização do número de Reynolds em engenharia), as pequenas turbulências desaparecem. Quando a velocidade cresce, as perturbações aumentam de maneira catastrófica. Influenciam outros fatores, como a viscosidade, a topologia do canal de escoamento e outras.



Qualquer líquido ou gás é um conjunto de partículas que tende ao infinito. Se cada uma delas se movimentasse de forma independente, então, o fluido (sangue, água ou gás) teria possibilidades infinitas, ou seja, “graus de liberdade” infinitos.

Na natureza, as transições de fases, ou os momentos de ruptura, sempre que limites limiares são ultrapassados, implicam comportamentos que se alteram e, por isso, acabam não se enquadrando em equações lineares. Essa mudança de comportamento acaba exigindo outra equação, e os conjuntos de equações raramente são compatíveis entre si. Às vezes, existem dificuldades em representar a própria alteração representada pelo limiar que foi ultrapassado. Não deixa de ser o princípio da “gota de água” que faz o copo transbordar.

Sistemas complexos têm muitas variáveis independentes e isso dificulta os tratamentos matemáticos ou estatísticos. A ciência, com sua modelagem, sempre procurou colocar ordem no que interpretava como caos. Se a interpretação semântica da palavra caos for alterada para sistemas dinâmicos complexos de natureza não linear, será preciso revisar os conceitos utilizados na ciência.

A física newtoniana já foi exaustivamente abordada por Fritjof Capra no célebre “Tao da Física” (CAPRA, 1975), em que existe uma razoavelmente fundamentada defesa de como a influência reducionista do mecanicismo newtoniano influencia a medicina. Onde Newton era reducionista, Goethe era holista. Newton decom pôs a luz e descobriu a explicação física que faria Thomas Young descrever a teoria das cores. Goethe caminhou para os jardins de luz com múltiplas flores e adotou uma postura que hoje seria rotulada de romântica, mas parece que se aproximou mais da realidade.

Muitos estudiosos do caos já se perguntaram como se pode mensurar a percepção humana ou as expectativas que fazem da biologia um campo único, na medida em que os seres têm funcionalidade (ditada pela fisiologia e pelos processos) acrescida da vontade.

Em geologia, são bem conhecidas as glaciações às quais a Terra é submetida no decorrer dos tempos. Existem sólidos argumentos a explicar esse fenômeno, como a oscilação do norte magnético (induzida pelo núcleo da Terra, que funciona como um dínamo), a qual pode expor as geleiras ao sol (e, nesse caso, produzir aumento dos níveis dos mares) ou esconder a Terra do sol (induzindo glaciações).

Existe o tamponamento do vulcanismo associado com a geodinâmica ou deriva continental, que propicia a formação do gelo. Existem explosões solares (ou a ausência delas), para explicar fenômenos climáticos. Mas, de certa forma, as eras glaciais são sempre subprodutos de fatores múltiplos, com muitas variáveis independentes e, portanto, com alto grau de liberdade nas equações.



A fronteira entre os ciclos não ordenados nas populações animais em modificação, conforme já destacado por Robert May, guardam, aparentemente, uma estranha analogia com a passagem do fluxo laminar para o turbulento. Ambos os fenômenos representam limiares.

Em disciplinas muito diferentes, a ciência começou a alterar seus paradigmas de forma relevante. Parou de isolar e reduzir componentes para explicar fenômenos. Parou de excluir dados que atrapalhavam correlações estatísticas. Parou de imaginar que as coisas que não compreendemos são detalhes irrelevantes.

A arte não deixa de ser uma teoria abstrata de como os seres humanos enxergam o mundo. Devemos transformar nossa ciência, antes de tudo, na arte de ver o mundo e a humanidade com harmonia e equilíbrio que expressam o mais singelo e completo conceito de felicidade.



## 2 AS MODERNAS CONCEPÇÕES DA BIOLOGIA

Harvey J. Gold, em sua publicação “Mathematical Modeling of Biological Systems” (apud GLEICK, 1989, p. 55), declara: “O resultado de um desenvolvimento matemático deve ser conferido constantemente com a nossa intuição de que constitui um comportamento biológico aceitável”. Quando essa conferência revelar discordância, devemos examinar, então, as seguintes possibilidades.

- a) Foi cometido um erro no desenvolvimento matemático formal.
- b) Os pressupostos de partida são incorretos e/ou constituem uma simplificação demasiadamente drástica.
- c) Nossa intuição sobre o campo biológico é inadequada.
- d) Um penetrante princípio novo foi descoberto.

Aparentemente, o mundo constitui um laboratório de espontaneidades para os ecologistas, onde milhões de espécies interagem, sendo difícil estimar a quantidade real de espécies existentes, dentro dos conceitos de biodiversidade.

Algumas escolas da biologia, com certeza apresentando inclinações para a matemática, durante o século XX, criaram a ecologia, tratando a ideia de populações de plantas e animais como sistemas dinâmicos em que a concepção de fluxo de matéria e energia, ou seja, os processos são hegemônicos sobre os indivíduos.

Os ecologistas, embora sempre usando modelos matemáticos, sempre tiveram a clara percepção de que esses modelos eram pálidas e simplificadas aproximações do esfuziante mundo real. Os biólogos sempre entenderam que seus modelos matemáticos tendiam a um reducionismo e a uma extrema simplificação da realidade.

A biologia populacional aprendeu muito com a história da vida, com a interação entre os elementos, com a maneira pela qual as diferenças de populações poderiam ser interpretadas. Normalmente, não são relações simplificadas, nas quais o aumento ou a diminuição de um fator interferem diretamente sobre os quantitativos. Muitas vezes, os caminhos são sinuosos e surpreendentes, uma elevação em um fator produz alteração em outro e a sinergia resultante não é uma equação matemática simplificada.

A ecologia clássica sempre utiliza o exemplo do escaravelho, um tipo de besouro muito particular em jardins. Em toda entrada de primavera, podemos contar os indivíduos de



uma população. Sem levar em conta outros fatores, como passarinhos, e ainda descontadas as doenças próprias dos escaravelhos ou sua longevidade curta, podemos citar o exemplo clássico representado pela limitação única (teórica) do abastecimento fixo de alimentos. Se os escaravelhos forem poucos, eles se multiplicarão e, então, comerão todo o alimento disponível e, depois, morrerão de fome.

A população de uma determinada espécie animal ou vegetal tenderá a crescer com uma velocidade conhecida até atingir o nível de equilíbrio. É possível encontrar uma equação matemática que represente isso com veracidade? Muitas equações diferentes poderiam funcionar, desde a clássica versão malthusiana linear  $x_{\text{próximo}} = rs(1 - x)$ . Na medida que o parâmetro  $r$  representa a taxa de crescimento e que o termo  $(1 - x)$  mantém o crescimento dentro de limites, já que, quando  $x$  aumenta  $(1 - x)$ , cai, seria viável, mediante uma simples operação aritmética, obter resultados. O problema é inserir todas as variáveis que estarão presentes no crescimento da população e o comportamento matemático de cada uma delas, bem como o resultado sinérgico que apresentam quando reunidas.

Esse fenômeno, atualmente, é bem conhecido e descrito na biologia. Tem a denominação solene de “Princípio das propriedades emergentes” (ODUM, 1986) e representa exatamente essa ideia. Quando se faz dois fatores interagirem, eles não apenas causam resultados individualmente, como produzem uma sinergia que modifica os seus resultados considerados isoladamente e, frequentemente, originam outros fatores novos que também interagem, tornando os processos de redução a equações, sejam elas simples ou complexas, extremamente inadequados para registrar as ocorrências.

Temos a tendência a buscar e compreender fenômenos regulares. Nossa mente gosta deles. Mas não podemos ter a concepção simplista de que os comportamentos que a nós parecem irregulares não possam ser estáveis dentro de outros parâmetros que não aqueles com que estamos habituados a lidar. Podemos ter o objetivo de extrema simplificação de criar modelos regulares. Todavia, temos que ter a humildade de admitir que a regularidade possa ter outros limites e dimensões diferentes dos paradigmas que, normalmente, adotamos. Faz muito tempo que a espécie humana tem uma visão conceitual de que simetria, por exemplo, não significa perfeição, ao contrário da geometria primitiva dos gregos ou das proporções dos renascentistas italianos.

Na vida cotidiana dos cientistas e das pessoas em geral, podemos dizer que a dependência sensível das condições iniciais dos sistemas acaba sendo um alibi, para explicar tudo que foge aos nossos paradigmas convencionais. Não é muito intuitivo, embora seja muito real, imaginar que pequenas perturbações na trajetória de fenômenos do cotidiano podem



ter grandes consequências tanto no destino quanto na física e na química. Não é muito fácil, tanto para os cientistas como para o conjunto das pessoas, criar modelos de mundo que sejam regulares no que aparentemente é irregular, que sejam estáveis na sua mutabilidade, ou seja, que não ocorram de forma repetitiva.

Os matemáticos sabem que a maioria das equações diferenciais apresenta grandes barreiras para serem resolvidas. Isso permite concluir que, de alguma forma, em sua essência, a natureza é não linear. Ainda hoje, os biólogos e os cientistas naturais, por deficiências formais de construção acadêmica, tendem a relegar a matemática em suas apropriações da realidade. Isso não é defeito, pelo contrário, aplicam uma visão holística e integrada na descrição compreensiva de realidades complexas. Até porque quem gosta de matemática - e tem aptidão e vocação para isso - tende para a formação exata em física ou na própria matemática e tem dificuldade, muitas vezes, na apreensão dos fenômenos naturais.

Alguns biólogos, como Robert May (que começou como físico e acabou como biólogo), descobriram que taxas de crescimento não lineares, além de levarem a resultados de explosão populacional e decadência dos indivíduos nos ambientes em que ocorrem, quando ultrapassam pontos críticos, podem mudar drasticamente o caráter de sistemas, modificando resultados qualitativa e quantitativamente. Isso afeta não apenas a população final em equilíbrio, mas também a possibilidade de chegar a qualquer equilíbrio. Não estar em equilíbrio pode ser muito estável em determinadas condições, ao contrário do que imaginamos, aprioristicamente, de que a premissa de atingir o equilíbrio signifique a estabilidade. Poderíamos falar que a estabilidade não significa a meta e não se traduz em finalidade, mas já seria especulação, além de um novo paradigma biológico.

O que denominamos de “caos”, simplificarmente, pode ser descrito como fenômenos não lineares que ocorrem em toda parte, principalmente na natureza, mas, ao contrário do que parece, ele traduz uma estabilidade e uma estruturação própria e arraigada. O advento do sensoriamento remoto e da massificação das imagens de satélite, que permitiram amplos estudos geométricos sobre configurações litorâneas e outros, demonstraram que sistemas complicados, cujos modelos eram tradicionalmente construídos com equações diferenciais contínuas e complexas, podem ser compreendidos com facilidade em mapas discretos, ou em termos de “fractais”.

A evolução da ecologia levou a duas concepções completamente distintas e, até certo ponto, antagônicas em termos epistemológicos. A primeira observava populações de forma regular e estável, com algumas exceções. E a outra corrente observava populações que variavam *irregularmente* com exceções. Quando se grifa a expressão irregularmente está se declarando que não varia linearmente. Antigamente, interpretava-se isso como não estável.



Mas cabe declarar, afirmativa e convictamente, que irregular não deixa de ser estável dentro de um outro padrão não linear.

Somos cientistas ocidentais, moramos no mundo ocidental. Mas, se fôssemos orientais, chineses, hindus ou árabes, e sofrêssemos influências deterministas ou fatalistas de origem religiosa, teríamos menos dificuldades de admitir estabilidade em irregularidades ou padrões não lineares. Mas, como nossa essência científica nos impregna de cartesianismo puro, temos dificuldades no exercício desse raciocínio simples.

Quantas vezes a ciência ocidental enterra dados que considera demasiadamente irregulares para serem estatisticamente tratados. A formação científica cartesiana, muitas vezes, não nos prepara adequadamente para a compreensão de fenômenos naturais puros que evidenciam ser de certo modo controlados pelos sistemas discretos mais simples de natureza não linear (FOOTE, 2007).

Isso não é privilégio da natureza. No mundo cotidiano da política e da economia, estaríamos, com certeza, muito melhor, se um maior número de pessoas compreendesse que sistemas não lineares simples tendem a responder melhor, quando procuramos descrever processos dinâmicos.

Na biologia, as correntes partidárias de populações vegetais ou animais estáveis argumentavam que essas populações eram reguladas por mecanismos deterministas. Os defensores das populações irregulares argumentavam que os fatores de controle eram influenciados por fatores ambientais imprevisíveis, os quais anulavam qualquer sinal determinista que pudesse existir.

Na verdade, o que se discute é se uma série de fatores simples, como disponibilidade de alimentos e outros, interage formando novas propriedades emergentes (que, por não serem compreendidas, muitas vezes, são chamadas imprevisíveis), ou se esse fato não era relevante. As alternativas hipotéticas partiam do princípio de que a matemática determinista produzia comportamentos regulares, ou as externalidades e as novas propriedades emergentes de interações eram capazes de produzir comportamentos aparentemente aleatórios, que, na verdade, apenas seriam padrões não lineares incompreendidos.

Nesse contexto de debate, a teoria do caos apresenta uma mensagem fascinante: os modelos deterministas simples podem produzir comportamentos que aparentam ser aleatórios. A isso atribuímos a influência de fatores novos emergentes de propriedades novas, ou influência de externalidades não compreendidas em toda sua extensão. Quem já trabalhou, exaustivamente, em avaliações de impactos ambientais sabe das dificuldades de listar todos os fatores relevantes e as interações múltiplas entre eles na análise de um empreendimento antrópico, como uma estrada, uma barragem ou um novo *shopping center*.



O físico e “biólogo” May (GLEICK, 1989, p. 75) declara, solenemente, que por mais complexa que a matemática linear pudesse ser, com suas transformadas de Fourier (tão importantes na análise e no tratamento de imagens de satélite), suas funções ortogonais e suas técnicas de regressão, além de todo um aparato de ferramentas, a mesma ciência pode falhar no que seja descrever o mundo e as relações naturais, em sistemas em que por vezes predomina a não linearidade.

A ecologia é um ramo da biologia relativamente recente. Teve seus princípios fundamentais popularizados na obra de Eugene Odum (1988). Esse autor disseminou os conceitos básicos de ecologia, alguns com extrema influência de BERTALLANFY (1975) e muitos já discutidos e usados em analogias. A influência da hierarquia nos níveis de organização, que trouxe a teoria geral dos sistemas para a própria origem da expressão ecossistema; o princípio das propriedades emergentes; a lei dos mínimos, de Liebig, e as modelagens ambientais constituem um conjunto de ferramentas inestimáveis para a compreensão da natureza.

Os níveis hierárquicos de organização são a comunidade, a população, o organismo, o órgão e o gene. São termos largamente empregados, para determinar os níveis biótico (ODUM, 1988, p. 2). Hierarquia significa um arranjo numa série graduada. Nessa apresentação básica, é fixado o conceito de estado contínuo (“steady state”), que significa um equilíbrio autoajustador, uma condição equilibrada que está relativamente imune a perturbações. Qualquer semelhança com a ideia de autossemelhança dos fractais não é mera coincidência. Sistemas em equilíbrio tendem a ser autossemelhantes em escalas diferentes, porque estão autoajustados.

O princípio das propriedades emergentes na ecologia reza que, a partir da combinação entre dois ou mais elementos, pode surgir uma nova variável ou fator que pode ser dependente ou independente (e isso leva a situações de complexidade, com maior número de graus de liberdade). A propriedade emergente não é reduzível, ou seja, as propriedades do todo não podem ser reduzidas à soma das propriedades das partes (estas sim, chamadas de propriedades coletivas, quando se comportam como sendo apenas a soma das propriedades constituintes).

A lei dos mínimos, de Liebig, ressalta a importância dos elementos químicos (tanto macronutrientes quanto oligoelementos principalmente) no desenvolvimento dos indivíduos. Nada lembra tanto a dependência severa das condições iniciais do que alterações dramáticas nesses elementos que levem a alterações de limiar ou comportamento em processos.

ODUM (1988) define um modelo como sendo uma formulação que imita um fenômeno real e pela qual se podem fazer previsões. Ele reconhece a limitação dos modelos



quando “fatores-chave”, propriedades emergentes e outras “integradoras” interagem, mesmo que o modelo seja sistêmico.

O ecossistema é a unidade funcional básica da ecologia (ODUM, 1988). É um conceito que advém da aplicação da análise sistêmica (BERTALLANFY, 1975) aos conceitos básicos de ecologia. Ressaltando: o todo de um ecossistema é uno em sua concepção, não a soma das partes, mas o conjunto das interações entre as partes.

Os componentes e processos que tornam funcional um ecossistema são a comunidade, o fluxo de energia e a ciclagem de materiais ou nutrientes. A comunidade é dependente das outras duas variáveis. E essas são muito sensíveis às condições iniciais dos sistemas, para influenciarem nos seus resultados. Sempre se imaginou que um equilíbrio dinâmico pudesse ser representado por equivalência nas entradas e saídas de matéria e energia. E isso é verdadeiro, mas a relevância das condições iniciais de funcionamento dos sistemas, que é tão importante na avaliação de sistemas não lineares como a vida, poucas vezes consegue ser avaliada de forma satisfatória.

O equilíbrio dos sistemas depende de uma grande quantidade de variáveis, como o tamanho do próprio sistema, a intensidade metabólica, o equilíbrio entre seres autotróficos e heterotróficos, o estágio de desenvolvimento do sistema e outras. Mas pouco se ouve falar da influência das condições iniciais (a própria lei dos mínimos, de Liebig, ressalta a influência e relevância desse fator na biologia). Existem inúmeras leis utilizadas na ecologia populacional, como a lei maltusiana, a lei de Allee, a lei Verhulst, a lei de Lotka-Volterra e as regras alométricas (lei de Fenchel, lei de Calder, lei de Damuth e lei de tempo de geração), além do princípio de Ginzburg (que poderíamos simplificar denominando de “memória genética”).

Talvez essas leis e esses princípios, que atribuem à quantidade de nutrientes presentes o crescimento da população, ou o crescimento da população de predadores, ou o tamanho da massa do indivíduo (leis alométricas), sejam extremamente verdadeiros, mas estejam fazendo o que as equações não lineares buscam, obstinadamente, decifrar na física ou na entropia.

A Hipótese Gaia pode ser descrita como uma forma de controle biológico dos nutrientes geoquímicos. O princípio sustenta que os microrganismos evoluíram junto com o ambiente físico, formando um sistema complexo de controle, que mantém as condições da Terra favoráveis a vida (LOVELOCK, 1979).

A amplitude do controle biológico sobre a Terra é a base da teoria deste físico, que, com a microbiologista Lynn Margulis, desenvolve uma série de publicações nesse sentido (LOVELOCK, 1979, LOVELOCK e MARGULIS, 1973, MARGULIS e LOVELOCK, 1974, 1975 e LOVELOCK e EPTON, 1975).



Nessa proposição, como em outras, aparece, com grande relevância, a concepção do “tamponamento” da Terra. Tamponamento é um princípio químico que garante e mantém o equilíbrio da reação. Esse princípio desloca a reação para o lado oposto à quantidade nova adicionada de substâncias, fazendo com que a proporção entre reagentes e produtos sempre se mantenha igual.

A dinâmica entre atmosfera e oceano é extremamente complexa. Os oceanos são a principal fonte de  $\text{CO}_2$  que pode ser trocado com a atmosfera, mas as taxas em que isso ocorre não são bem conhecidas. Existe uma relação conhecida entre o aumento de  $\text{CO}_2$  e o efeito estufa, mas o  $\text{CO}_2$  pode ser originado da poluição industrial, das descargas dos automóveis ou da emanção de vulcões ativos. Quanto é originado em cada fonte, ainda é uma matéria controversa.

Existe ainda a polaridade do eixo terrestre, que pode expor as regiões mais frias à, exposição solar e contribuir para o efeito de aquecimento global. E outro fator importante são as explosões solares, que são cíclicas e pouco conhecidas e que, certamente, têm alguma contribuição no sistema.

Nesse campo de investigação, existem mais dúvidas do que certezas. Haveria ligação direta entre o possível efeito estufa intensificado e as observações de variação do nível do mar? Ou entre essas observações e os ciclos de manchas e explosões solares via induções climáticas? Qual a nossa posição atual em termos de resposta do nível do mar às variações orbitais, os ciclos de precessão e a obliquidade do eixo do planeta, que são geológicos e sempre existiram? De que monta são a sensibilidade e a inércia aos fatores externos, a circulação oceânica, as variações do nível do mar e a distribuição de temperatura nas diferentes profundidades? Quão heterogênea é a distribuição das alterações climáticas dentro de grandes blocos continentais, onde a inércia térmica dos oceanos é menos percebida?

É absolutamente certo que a ação antrópica, com as emissões atmosféricas poluentes industriais, as queimadas e a grande emissão atmosférica patrocinada por uma quantidade gigantesca e absolutamente descontrolada de automóveis de passeio, contribui de, forma decisiva, para o aquecimento global. Mas quanto é contribuição desse fator e quanto é responsabilidade dos fenômenos e ciclos geológicos históricos é tema de grandes controvérsias.

Devemos considerar que as previsões de aquecimento "catastrófico" e os modelos matemáticos usados nas extrapolações para o futuro são discutíveis, havendo a possibilidade de estarmos considerando apenas algumas das variáveis, sem considerar as condições iniciais do sistema e sem saber como aplicar o princípio das propriedades emergentes no conjunto. Esses diversos fatores interagindo, certamente, devem criar novos fatores ainda nem citados.



Isso nos faz monitorar apenas uma parte das flutuações do clima de nosso planeta, com certeza. Essas limitações não invalidam os resultados já alcançados, mas provocam novos e grandes desafios. O que podemos afirmar, com certeza, é que temos nossa parcela e devemos fazer algo a respeito; quanto a efeitos de origem natural, que nos preparemos para mitigar consequências e dissolver vulnerabilidades.

A variação das condições geológicas do planeta, em função da geodinâmica ou tectônica de placas, gerou uma época na qual a matéria orgânica era preservada. Isso ocorre quando, em ambientes pantanosos, as árvores são protegidas da decomposição aeróbica pela água e sofrem, então, processos de soterramento e decomposição anaeróbica. Isso produz os combustíveis fósseis hoje conhecidos (carvão e petróleo) e essa formação corresponde a fases bem determinadas da evolução geológica. Esse superávit de produção orgânica em relação à respiração é considerado uma das principais razões para períodos de decréscimo do CO<sub>2</sub> e um aumento no teor de oxigênio até os níveis elevados dos tempos geológicos recentes, que é um indutor da vida biológica atual da forma como conhecemos, ao fornecer energia farta e de uso simples aos seres vivos.

É princípio indiscutível, dentro da ecologia, que os fenômenos e fatores muito eficientes para um indivíduo não são, necessariamente, eficientes em comunidades, onde a interação entre as espécies é vital para a seleção natural. É lógico contemplar uma analogia simples. Se a interação entre espécies é vital - e todos concordamos que é -, por que a interação entre fatores que controlam determinados fenômenos e que, necessariamente, interagem (e, com isso, podem até criar fatores emergentes novos) não é tão valorizada e, frequentemente, negligenciada? Será por mero interesse reducionista para viabilizar as interpretações matemáticas ou estatísticas lineares? Por que, nesse momento, não se interage com fatores reconhecidamente significativos e consensuais nas ciências naturais e que se relacionam com sistemas não lineares, como a influência sensível às propriedades iniciais dos sistemas?

Toda o planeta, com base na abordagem de Ter Stepaniam, passa por sensíveis mudanças na natureza cibernética e estabilidade dos ecossistemas. É preciso entrar com a mente aberta nas novas portas dos desafios propostos pela complexidade, os quais ainda são mais ampliados pela multidisciplinaridade que, consensualmente, as questões apresentam e que já materializa um “trend” inquestionável.

O conceito de tecnógeno desnuda a estabilidade à resistência dos sistemas. Nitidamente, grandes dimensões físico-biológicas não têm mais a capacidade de se manterem estáveis em regimes de “stress”. E a estabilidade elástica, que é capacidade de autorrecuperação dos sistemas naturais, já não ocorre em várias situações, exigindo intervenções



antrópicas, para auxiliar na regeneração, numa área científica e comercial que muito tem se desenvolvido e atende pela denominação genérica de “recuperação de áreas degradadas”, em que os métodos biotecnológicos têm tido grande participação.

A recuperação de uma área degradada não objetiva fazer o ecossistema retornar ao estado inicial. Os ecossistemas possuem mais de um estado de equilíbrio e, quando sofrem recuperação, retornam a um estado diferente depois de uma perturbação que, geralmente, produz novas variáveis de controle e que interagem entre si.

O conceito de estabilidade, em um sistema mecânico, elétrico ou aerodinâmico, implica retorno ao mesmo estado de equilíbrio após uma perturbação. Num sistema biológico ou natural, isso, com certeza, raramente ocorre.

O homem tornou-se esse poderoso organismo, organizado em sociedades complexas, capaz de relevantes intervenções nos meios físico e biológico pela notável evolução de seu sistema nervoso central. Essa evolução permite ao cérebro que, com pequenas quantidades de energia, conceba e emita avaliações particulares dos estímulos externos que recebe. Ter Stepaniam transformou esse conceito na proposta de um período da evolução da humanidade, em que a hegemonia da mente humana sobre os meios físico e biológico produz a ultrapassagem dos limites de estabilidade, criando uma nova fase na história, na qual, sem o auxílio da própria espécie humana, responsável pelas perturbações, os sistemas não conseguem se recuperar.

Nesse sentido, torna-se muito útil e operacional a técnica reducionista que transforma o planeta num mosaico de bacias e sub-bacias hidrográficas, unidades mais fáceis de recuperar pela sua dimensão física limitada, do que recuperar todo o planeta ao mesmo tempo. Claro que as relações dos elementos físicos e biológicos das bacias e sub-bacias é universal, interferem, obviamente, realidades como a dependência sensível das quantidades iniciais e relações que produzem novos fatores emergentes, mas nem por isso a técnica deixa de ser válida.

Outra possibilidade, que é muito utilizada em substituição às bacias e sub-bacias hidrográficas, é o conceito de geobiosistema, que depende fundamentalmente do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Os elementos dos meios físico, biológico e antrópico são associados em paisagens unificadoras, em que o uso das técnicas de sensoriamento remoto e tratamento digital de imagens de satélite, dentro de um contexto multidisciplinar, permite a transferência e a evolução de conceitos. Hoje, é disseminada a concepção do conceito de “paisagem” como expressão do agenciamento dinâmico e superficial dos conjuntos territoriais. Ou seja, não é mais apenas o solo a face mais visível do meio físico, e sim a paisagem integradora do



solo com os demais fatores, a expressão conjunta das interações compreendidas ou ainda difusas.

Esse agrupamento, capaz de expressar homogeneidades ou realçar diferenciações físicas espaciais e temporais no meio terrestre, origina a conceituação de “geobiossistemas”, como unidades territoriais, geográficas ou cartográficas de mesma paisagem, definidas por características estatísticas do meio natural físico, biológico, hierarquizadas por um mesmo sistema de relações.

Portanto, podem ser utilizadas as bacias e sub-bacias hidrográficas como menores unidades territoriais de sistemas, ou os “geobiossistemas” como elementos de unificação de unidades integradas por mesmas hierarquias entre os elementos dos meios físico, biológico (incluindo a química e bioquímica) e antrópicos ou socioeconômicos.

As cidades, metrópoles ou regiões metropolitanas são os ecossistemas humanos cujas características são heterotróficas. Resumidamente, os materiais (nutrientes, inclusive água) e a energia são importados para as cidades, que produzem e exportam efluentes domésticos e industriais e resíduos sólidos tanto domésticos quanto industriais. As cidades ocupam de um até cinco por cento das áreas do mundo inteiro (ODUM, 1988, p. 48), mas alteram a natureza de rios, florestas, campos naturais e cultivados, da atmosfera e dos oceanos em extensão que pode ser muito maior que uma determinada bacia ou sub-bacia hidrográfica e, aqui, reside a importância do conceito de geobiossistema. As áreas urbanizadas praticamente não produzem alimentos. Dependem totalmente da importação de materiais (água dos sistemas hídricos e alimentos do meio rural) e energia (de hidrelétricas, termelétricas, usinas nucleares, usinas eólicas ou qualquer outra fonte).

As cidades não possuem uma ecologia separada do bioma em que estão inseridas. Mas constituem um típico ecossistema urbano, conforme já simplificada e descrito.



### 3 A SIMPLIFICAÇÃO DOS CONCEITOS DE SUSTENTABILIDADE NA SOCIEDADE

Não é por acaso que boa parte da teoria do caos, tão utilizada para explicar os novos modelos não lineares capazes de melhor descrever fenômenos e processos naturais, nasceu dentro de laboratórios e centros de pesquisa de empresas e organizações.

Isso comprova que a cultura produtivista de empresas e organizações consegue assimilar muito bem a ideia de que padrões e modelos podem não ser lineares e ter grande padrão de equilíbrio ou regularidade dentro de uma aparente irregularidade.

Motivos de alterações de gráficos de vendas de produtos podem ser embalagens, distribuição, comissões, sazonalidade, divulgação e uma quantidade muito grande de fatores, independentes, dependentes entre si ou sinérgicos, o que, de alguma forma, guarda analogia com o princípio das propriedades emergentes, tão discutido e aceito na biologia contemporânea. Às vezes, a associação de sazonalidade com mecanismos de divulgação implica alterações de comportamento no ciclo de vida de um produto que não são possíveis de serem reduzidas a simplórias correlações diretas ou equações lineares simples. Desse modo, até conceitos muito sedimentados na moderna bibliografia empresarial, como sustentabilidade, merecem ser revistos. O conceito original de sustentabilidade vem de uma visão holística, integrada e quase materna, quando a antiga primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, asseverou a ideia de que sustentabilidade é utilizar os recursos naturais necessários, sem comprometer sua disponibilidade para as gerações futuras (ONU, 1991).

O marco de referência é o ano de 1987, quando a então presidente da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Gro Harlem Brundtland, apresentou, para a Assembleia Geral da ONU, o documento “Nosso Futuro Comum”, que ficou conhecido como Relatório Brundtland (VEIGA, 2005, p. 191).

Nesse Relatório, o desenvolvimento sustentável foi conceituado como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 46). É, em suma, um conceito bonito, que permite que deitemos a cabeça no travesseiro à noite e tenhamos um sono tranquilo, mas não salva o planeta. Precisa ser revisto à luz do nível de degradação ambiental observa-



do em cada contexto geográfico. Contribuiu também para gerar equívocos, como a economia ligada ao comércio de créditos de carbono: a degradação da minha aldeia é sustentável desde que eu compre títulos de diminuição a emissão de gases ou derrubada de matas do outro lado do planeta. Mas e a minha aldeia ficou mais sustentável por isso?

Mesmo tendo esse marco para sua conceituação, a noção de desenvolvimento sustentável exhibe uma evolução de conceitos a partir do “ecodesenvolvimento”, que vinha sendo defendido desde 1972, ano de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em Estocolmo (Ignacy Sachs, Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado, 2004, p. 36).

Segundo VEIGA (2005), três são os entendimentos acerca do desenvolvimento com sustentabilidade.

A primeira corrente seria a dos fundamentalistas. Segundo esse entendimento, o desenvolvimento teria o mesmo significado de crescimento econômico. Essa noção ainda apresenta grande força na atualidade, tendo como principal exemplo de sua aplicação a comum medição do desenvolvimento com base no Produto Interno Bruto *per capita* de um país. O desenvolvimento seria uma decorrência natural do crescimento econômico em razão do que se chama de “efeito cascata” (SACHS, 2004).

Esse entendimento foi enfraquecido com o Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD) através do “Relatório do Desenvolvimento Humano” e do lançamento do “Índice de Desenvolvimento Humano” (IDH). A criação desse programa e do índice teve como causa a percepção de que o crescimento econômico apresentado por alguns países, na década de 1950, não trouxe consigo os mesmos resultados sociais ocorridos em outros países considerados desenvolvidos (VEIGA, 2005).

A segunda corrente de pensamento nega a existência do desenvolvimento, tratando-o como um mito. É denominada de pós-modernista. Para o grupo, a noção de desenvolvimento sustentável em nada altera a visão de desenvolvimento econômico, sendo ambas o mesmo mito (SACHS, 2004).

Giovanni Arrighi é um dos autores dessa vertente. Divide os países em pertencentes ao “núcleo orgânico”, “semiperiféricos” e “emergentes”, não acreditando ser possível, somente em condições excepcionais, que um país altere a sua posição.

Ainda como pós-modernistas encontram-se Oswaldo de Rivero, Majid Rahnema e Gilbert Rist. Nessa interpretação, o que os países em desenvolvimento precisariam buscar não seria o desenvolvimento, e sim a sobrevivência, com todas as consequências ambientais



que essa postura determina. Não se pode culpar alguém por executar uma ação que agride o meio ambiente, quando a sobrevivência das pessoas depende disso.

O terceiro e mais complexo entendimento ganha força com o primeiro Relatório do Desenvolvimento Humano, em 1990, obtendo mais consistência nas palavras Amartya sem, em 1996 e 1997, com a noção de desenvolvimento como liberdade, de modo que só poderia ocorrer, se fossem garantidos a todas as pessoas os seus direitos individuais, que efetivariam a sua liberdade.

Assim, liberdade em nenhum momento, poderia se restringir e ser entendida como renda *per capita*, devendo abranger questões culturais, sociais, entre outras (VEIGA, 2005). Essa é a noção que mais se aproxima das discussões atuais sobre o desenvolvimento sustentável, tendo grande importância nesse processo de transformação.

Isso explica a necessidade cada vez maior de participação das comunidades nas discussões ambientais, seja na avaliação de projetos em audiências públicas, seja na elaboração e implantação de políticas públicas de meio ambiente.

Alguém poderia perguntar: em que essa abordagem se relaciona com meio ambiente? A resposta é em tudo, na medida em que o meio ambiente é a consequência de todas as relações produzidas entre os meios físico, biológico e antrópico. Produzida pelo homem para suprir suas necessidades, mas com potencialidade de impactar a própria humanidade.

Mais translúcidas são a aplicação e racionalização, que precisam ser compreendidas, de não transformar a questão ambiental numa enorme simplificação, como imaginar que uma árvore derrubada aqui pode ser substituída por uma árvore plantada lá. Essa simplificação é intolerável diante da compreensão da não linearidade com a qual a natureza demonstra adotar seus padrões.

As empresas e as pessoas não vão ficar discutindo conceitos existenciais e herméticos sobre desenvolvimento sustentável no seu cotidiano.

Como as organizações traduzem para a prática as ideias de desenvolvimento sustentável, inicialmente, defendidas e divulgadas pela primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que apresentou, para a Assembleia Geral da ONU, o documento “Nosso Futuro Comum”, o qual ficou conhecido como Relatório Brundtland (VEIGA, 2005)?

As organizações traduziram tudo de forma muito pragmática. Começaram por introduzir o conceito de ecodesign em seus produtos. Ecodesign não é apenas inspiração com temas ecológicos. Significa planejar e produzir produtos que possam ser totalmente reciclados quando terminar sua vida útil. Ou, no caso de embalagens de alimentos, que possam ser totalmente reaproveitadas ou recicladas, aplicando, inicialmente, a prática dos 3R (reduzir



a geração de resíduos, reutilizar no mesmo estado que se encontram, ou reciclar, quando o material serve de matéria-prima para novo ciclo industrial, como as latinhas de alumínio dos refrigerantes).

Depois, por reduzir os desperdícios de energia, passaram a adotar programas de eficiência energética, calculando as iluminações e a potência dos motores que movimentam máquinas, produzindo energias alternativas, como solar e eólica, e criando programas permanentes de aperfeiçoamento e melhoria contínua nessa área.

A seguir, passaram a cuidar da racionalização do uso de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. Em todas as organizações que poluem água, eficientes e eficazes sistemas de tratamento de efluentes foram implantados e o controle por padrões de descarga dos efluentes passou a ser rigoroso.

Em conjunto com essas atividades, passaram a implantar cuidadosos sistemas de gestão de resíduos sólidos, tanto domésticos quanto industriais, privilegiando a prática dos 3R.

Ao mesmo tempo, começaram a ser muito controladas as emissões atmosféricas de organizações que produzem grande quantidade de gases, como polos petroquímicos e organizações que utilizam caldeiras. Passaram a ser implantados filtros, lavadores de névoas e outros equipamentos de prevenção de poluição.

A seguir, foram criados programas de responsabilidade socioambiental muito amplos, envolvendo todas as partes interessadas (fornecedores, colaboradores, clientes, ONGs, governo etc.).

A sequência, em geral, inicia com a implantação de programas 5S, acompanhados de programas de treinamento de pessoal e melhoria contínuos, que logo evoluem para certificações de qualidade (série ISO 9000) e certificações ambientais (série ISO 14000).

A conscientização é igual nos setores público e privado. Mas, por razões operacionais, os resultados que têm sido alcançados pelas organizações privadas é melhor. E, muitas vezes, esses resultados são compulsoriamente perseguidos, porque deles dependem, frequentemente, os mercados, tanto interno quanto externo.

Não há sentido no conceito de meio ambiente que não inclua o homem como o centro das motivações, afinal, para que serviria um mundo totalmente preservado e em equilíbrio sem a presença do homem? Nesse caso, nem mesmo a expressão meio ambiente teria sido inventada.

Existem muitas escolas de responsabilidade socioambiental (BIEDRZYCKI, 2005; CALLENBACH, 1993; FLORES, 2005; LEMOS, 2005; NASCIMENTO et al., 2008), mas o exemplo que parece mais unir esse conceito de gerenciamento integrado é O PRINCÍPIO DA ATUAÇÃO RESPONSÁVEL (“RESPONSABLE CARE”). Foi criado em 1984,



no Canadá, pelas indústrias químicas, com o apoio da Chemical Manufactures Association (CMA). No Brasil, é difundido pela ABIQUIM desde 1992. A partir de 1998, a adesão dos sócios da ABIQUIM a esse modelo é obrigatória.

O programa enfoca saúde, segurança e meio ambiente, conhecidos internacionalmente pela sigla SHE (“safety, health and environmental”). Ao mesmo tempo, integra segurança, saúde ocupacional e meio ambiente num único conceito. Dessa forma, é possível generalizar a ideia de que todas as iniciativas que tragam melhoria na qualidade de vida sejam ações de responsabilidade socioambiental.

A agenda 21, posteriormente transformada em Programa 21, pela ONU, estabeleceu um plano de ação para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável. No seu capítulo 30, que trata do fortalecimento do papel do comércio e da indústria, as entidades e empresas do setor produtivo comprometem-se a promover uma produção mais limpa e a ampliar sua responsabilidade empresarial, reconhecendo o manejo do meio ambiente como uma das mais altas prioridades e como fator determinante do desenvolvimento sustentável (BARBIERI, 1997, p. 65).

As instituições financeiras internacionais, como BID, BIRD, GEF, e as agências de cooperação (JICA, GTZ) foram reconhecidos como de principal importância para uma nova política ambiental a que as nações signatárias da Agenda 21 se comprometeram a dar seguimento. Isso significa que financiamentos de quaisquer origens, públicos ou privados, devem ser disponibilizados em consonância com os princípios e as diretrizes acatados pelos países signatários.

O seu papel é cada vez mais relevante como ator na gestão pública do meio ambiente. Isso porque, parece-nos, a questão ambiental vem perdendo, em virtude de pressões do fenômeno da chamada globalização, e com a conseqüente e exacerbada mercantilização das relações materiais e imateriais da pós-modernidade, importância na pauta das questões políticas e incorporando-se cada vez mais às questões de mercado. A própria regulação prática dos financiamentos de novos projetos e fomento às empresas tem sido atrelada, nos últimos anos, a uma análise prévia socioambiental.

Nesse sentido, as evidências se expressam no advento de novos instrumentos ofertados nesse campo, como as auditorias, a certificação de processos e produtos, a análise e o mapeamento de risco, as centrais de tratamentos de resíduos, as redes de estações automáticas, os sistemas de informações geográficas, o selo verde, os modelos hidrodinâmicos, biodetectores etc. (VIEIRA; BREDARIOL, 1998, p. 89).

As empresas e organizações têm procurado se alinhar pelo viés da ética nos negócios



e na responsabilidade social corporativa. Matérias e propagandas nessas áreas são abundantes em revistas, jornais e páginas de internet, embora o resultado prático dessa nova postura das empresas ainda seja pífio na área ambiental e existam poucas evidências de que os documentos, protocolos e outros compromissos assumidos por essas entidades influenciem ainda muito pouco suas decisões estratégicas (WOOD Jr., 2005, p. 35).

A adoção de princípios de responsabilidade corporativa na área ambiental, em que pese à indução de padrões globais para práticas de controle ambiental decorrentes, inapropriadas a um mundo heterogêneo como o atual, e aos eventuais gastos com *marketing* dos programas que superam os gastos com os próprios programas, são, ao final, repassados e assimilados, via aumento de custos e preços, a toda a sociedade.

A palavra *responsabilidade* vem do latim *respondeo*, significando a "capacidade de assumir as consequências dos atos ou das omissões, que pressupõe a ocorrência de um ilícito" (SÉGUIN, 2000, p. 275). Como gênero, portanto, a noção de responsabilidade vincula-se a exame de conduta voluntária violadora de um dever jurídico (VENOSA, 2003, p. 19).

O referido afastamento do elemento subjetivo da culpa só foi possível mediante a adoção de uma nova visão doutrinária, denominada doutrina do risco, que fez progredir o conceito da responsabilidade objetiva, deslocando a questão da responsabilidade extracontratual do critério da responsabilidade fundada na culpa para um ponto de vista exclusivo da reparação das perdas, que já não seria definido pela medida de culpabilidade, mas que deveria surgir do próprio fato causador da lesão a um bem jurídico. Em outras palavras: o problema da reparação dos danos sofridos deve ser proposto a partir da questão de "quem deve reparar os danos" e não da questão de "quem é o responsável" (BARACHO JÚNIOR, 2000, p. 297).

Essa evolução conceitual permitiu que a expressão *responsabilidade* fosse utilizada não apenas no direito formal, mas no direito real que têm os cidadãos de contar com a adesão voluntária das empresas e organizações para a prática de ações que caracterizem inclusão social, proteção ambiental integrada com saúde ocupacional e segurança do trabalho, e melhoria geral de qualidade de vida das partes interessadas de um empreendimento.

É em todo esse conjunto que se pretende esperar que a mudança dos paradigmas produza seus efeitos, acabe com as simplificações primitivas e alcance a nova dimensão produzida pelo entendimento de que a natureza assume padrões de organização não lineares, fractais ou não, holomórficos ou não, mas sempre diferenciados.

Atualmente, discute-se muito a questão da gestão ambiental nas empresas, organizações e nos órgãos públicos. A gestão ambiental é um conjunto de procedimentos e normas para



gestão das questões legais, éticas e práticas das relações de qualquer empreendimento privado ou público com os meios físico, biológico e antrópico que constituem o meio ambiente.

Inicia por um diagnóstico ambiental, que é um levantamento sistemático e permanente de todas as situações que envolvem o gerenciamento ambiental da empresa, para que, em momento algum, possam ocorrer incidentes ou ocorrências surpreendentes, que não estejam dentro do planejamento sistematizado das operações. Esse diagnóstico é procedido através de uma auditoria ambiental, que constitui um processo de verificação sistemática e documentada, para avaliar as evidências que determinam se a política ambiental de uma organização tem conformidade com os critérios de SGA implantado, avaliando a eficácia.

Isso tudo ocorre num ambiente novo, tanto local quanto global, suscitado por novas demandas das partes interessadas (“stakeholders”). O mundo globalizado, que exige novas posturas, substitui as barreiras comerciais das tarifas externas, que agora são comuns na maioria dos países integrados em blocos econômicos por demandas ambientais e sociais.

Na conferência de meio ambiente realizada pela Organização das Nações Unidas, em 1972, em Estocolmo, a então primeira ministra da Noruega, Gros Brundtland, definiu as bases do conceito que viria a ser muito ampliado de desenvolvimento sustentável. Expôs o princípio que o desenvolvimento deve utilizar os recursos naturais necessários, sem comprometer o desenvolvimento e a vida das gerações futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentável amplia-se cada vez mais. Envolve eco-design, otimização do uso de recursos hídricos, eficiência energética, tratamentos de efluentes ou esgotos, conforme o caso, implantação de programas de gestão de resíduos sólidos, monitoramento de emissões atmosféricas e programas de responsabilidade socioambiental. Tudo mensurado através de Indicadores de Desempenho Ambiental (IDAs), conforme indicação da Série ISO 14000. Esses indicadores de desempenho ambiental são os resultados mensuráveis de Sistemas de Gestão Ambiental, relacionados com o controle de aspectos ambientais de uma organização, baseados em suas políticas, seus objetivos e alvos ambientais.

Atualmente, é lícito afirmar que a sociedade espera das empresas um avanço em direção a iniciativas socioambientais que permitam o gerenciamento integrado das questões. Existem várias escolas de gestão integrada, das quais citamos as principais. E acrescenta-se que a sociedade espera uma nova compreensão das relações entre meios físico, biológico e antrópico que constituem o meio ambiente.

A primeira escola socioambiental é a gestão ecológica ou *ecomangement*. Foi proposta por CALLENBACH (1993) no Instituto Elmwood, fundado em 1984 por Fritjof Capra,



com o objetivo de mudar a forma de pensar e agir dos colaboradores, objetivando a minimização dos impactos ambientais das atividades.

Outra iniciativa relevante é a responsabilidade socioambiental corporativa (RSC). É o comportamento ético dos gestores, encontra-se entre as mais importantes tendências da gestão ambiental moderna. Todas as ações que visem a promover a melhoria da qualidade de vida e da qualidade ambiental são integradas com as necessidades e expectativas humanas, como proteção ao meio ambiente, proteção social, saúde, educação, lazer e organização do trabalho (BIEDRZYCKI, 2005).

Destaca-se também o princípio da atuação responsável (“*Responsible Care*”). Foi criado em 1984, no Canadá, pelas indústrias químicas, com o apoio da *Chemical Manufacturers Association* (CMA). No Brasil, é difundido pela ABIQUIM desde 1992. O programa enfoca saúde, segurança e meio ambiente, conhecidos internacionalmente pela sigla SHE (“*safety, health and environmental*”).

Atualmente, é cada vez mais difundido nas empresas o princípio básico da gestão sustentável da cadeia de suprimentos (“*supply chain management*”). É assegurar mais visibilidade aos custos e outros eventos relacionados com a produção para satisfação da demanda, com o objetivo de minimizar os gastos do conjunto das operações produtivas e da logística entre as empresas (FERNANDES e BERTON, 2005). O planejamento e o controle da produção não apenas cuidam de maximizar lucros e atender às demandas de materiais dos clientes internos, mas deve cuidar de evitar a geração de estoques que representem um gasto ambiental desnecessário nas porções mais a jusante na cadeia de suprimentos.

Finalizando, cita-se o “*The Natural Step*”, ainda relativamente complexo quanto à aplicação cotidiana por parte das empresas; vem sendo proposto por uma organização independente que apresenta uma metodologia para atingir sustentabilidade empresarial. Considera a concentração das substâncias extraídas da crosta terrestre, concentração das substâncias produzidas pela sociedade, degradação do meio físico e do meio biológico e as necessidades humanas (BARBIERI, 2004).

Do poder público, a sociedade espera um significativo avanço, que implica adotar sistemas de gestão ambiental na administração da coisa pública e agir como estado nas funções de fiscalização e proteção da qualidade de vida de todos os cidadãos. E, dentro do possível, adotar uma visão mais abrangente de meio ambiente, incorporando conceitos básicos de não linearidade.

Nas empresas, a responsabilidade socioambiental (RSA) como estratégia organizacional vislumbra as questões sociais e ambientais que dizem respeito às preocupações com



os impactos resultantes das operações organizacionais e seus efeitos. Isso ultrapassa fronteiras nacionais, atingindo o mercado global, que sofre pressões em torno da conservação ambiental. Nesse contexto, é crescente o número de organizações que procuram conformidades e normalizações da RSA reconhecidas em escala global, sob pena de perderem competitividade.

Genericamente, responsabilidade socioambiental pode ser conceituada como um conjunto de ações que promovam o desenvolvimento, comprometido com a compatibilização ambiental e a inclusão social em todas as dimensões. Isso surge como uma nova demanda das partes interessadas (“stakeholders”), em que os consumidores passam a delimitar a escolha de seus produtos e serviços de acordo com a responsabilidade socioambiental percebida (OLIVEIRA e ALDRIGHI, 2000).

Está implícito que as empresas e organizações devem criar, difundir e coordenar redes de relacionamento entre todos os atores sociais, como forma de compartilhar as ações e garantir sua eficácia e eficiência (ELKINGTON, 2001). Isso deve ser cada vez mais relevante com as relações ambientais. De nada adianta a “academia” (aqui entendida como a universidade e os centros de pesquisa em geral) buscar excelência e uma nova visão na descrição dos modelos encontrados na natureza, se as empresas e organizações não evoluírem junto e se apropriarem desses conceitos no desenvolvimento de seus produtos e processos. E, dessa forma, sair da simplificação com que têm sido tratados os conceitos de sustentabilidade em geral.

Cada vez mais, os mecanismos internacionais e nacionais de financiamento exigem como contrapartida o enquadramento das empresas a normas e padrões de gestão e formas de atuação socioambiental. Portanto, é fundamental que essa nova compreensão atinja todas as esferas e dimensões relacionadas com a questão ambiental.

A responsabilidade socioambiental é uma postura ética permanente das empresas no mercado de consumo e na sociedade. Muito mais que ações sociais e filantropia, a responsabilidade social deve ser o pressuposto e a base da atividade empresarial e do consumo. Engloba a preocupação e o compromisso com os impactos causados a consumidores, meio ambiente e trabalhadores; os valores professados na ação prática cotidiana no mercado de consumo, refletida na publicidade, nos produtos e serviços oferecidos; a postura da empresa em busca de soluções para eventuais problemas e a transparência nas relações com os envolvidos nas suas atividades.

A Responsabilidade Socioambiental corresponde a um compromisso de empresas que atuam na vanguarda, atendendo à crescente conscientização da sociedade, principalmente, nos mercados mais maduros. Diz respeito à necessidade de revisar os modos de



produção e padrões de consumo vigentes, de tal modo que o sucesso empresarial não seja alcançado a qualquer preço, mas ponderando-se os impactos sociais e ambientais decorrentes da atuação administrativa e negocial das empresas e organizações.

Os conceitos de meio ambiente, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade e responsabilidade socioambiental ainda são motivo de polêmicas entre os diversos atores envolvidos com essas situações nas empresas. Sempre existem dúvidas sobre o que é meio ambiente, o que faz parte dele e o que é relevante para o meio ambiente.

Sobre desenvolvimento sustentável, existe mais consenso. A Confederação Nacional da Indústria e o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEDBS), hoje apresentando um *site* mais amplo através do IBV (Instituto Brasil Verdade), repassam claramente essas questões. SATO e SANTOS (1996) e CAVALCANTI (1995) resgatam a necessidade cada vez maior de reciclagem das matérias-primas, associada a políticas de otimização do uso de recursos hídricos e programas de eficiência energética. Também são relevantes tratamento de efluentes líquidos com contaminações químicas, programas de gestão de resíduos sólidos que facilitem e estimulem os procedimentos de reutilização e reciclagem e as ações de monitoramento atmosférico na emissão de poluentes no ar.

Isso tudo interfere, decisivamente, nas questões ambientais e não adianta uma nova visão filosófica e científica das relações que determinam nova visão das leis as quais controlam o delicado equilíbrio da Terra e do próprio universo, se esses conceitos não servirem para criar uma nova visão de sustentabilidade que fuja das definições simplificadas e até mesmo primárias.

De alguma forma, todos precisam reciclar sua concepção cartesiana de mundo e não mais resumir a vida a um fluxograma de compra, venda, lucro, reciclagem geral de materiais, arremedios de recuperações que nunca mais atingem qualquer equilíbrio relevante.

O caminho da sustentabilidade tradicional está baseado no princípio de utilizar os recursos naturais sem comprometer a vida das gerações futuras. E os recursos naturais são finitos e precisam de uma abordagem que considere essa realidade como premissa. Mas, de alguma forma e em algum momento, é preciso incorporar os conceitos de complexidade das relações, fundamental ao desenvolvimento de ações ambientalmente significativas, uma vez que o meio ambiente pode ser definido como o conjunto de relações entre os meios físico, biológico e antrópico.

A tendência moderna é de gestão integrada, que significa associar saúde ocupacional, segurança do trabalho e proteção ambiental com ações sociais que priorizem a melhoria



da qualidade de vida das populações que integram grupos de partes interessadas (“*stakeholders*”), quer sejam consumidores, clientes, acionistas, vizinhos, integrantes de associações comunitárias ou outros. É condição *sine qua non* - e meta de difícil alcance - a solidariedade: o sistema não funciona, se houver desequilíbrio entre os interesses dos diferentes membros do grupo.

A grande maioria das empresas e organizações tem procurado se adaptar a essa realidade e evitado compartilhar discussões semânticas sobre a natureza das ações que pratica. Não tem importado se as ações são ambientais, socioambientais, de segurança do trabalho, saúde ocupacional, ou ações sociais. Mas é preciso evoluir para uma abordagem mais holística, que inclua, no cotidiano das compreensões e das ações, o entendimento de que relações são complexas, nem sempre são lineares e produzem princípios novos, chamados de emergentes.

As demandas são maiores do que as formulações e a realidade cotidiana. Primeiramente, é necessário atender às solicitações mais simples e mais visíveis representadas pelas abordagens tradicionais e, depois, deixar que os conceitos se ampliem.

Mas é de fácil entendimento perceber que a nova visão tem de integrar a realidade cotidiana de empresas e organizações que tanto tendem a simplificar suas abordagens, especialmente, as ambientais. A abordagem ambiental é especialmente percebida, quando integra uma estratégia de comunicação que abrange a imagem da organização. Quando inserida nesse contexto, acionistas, administrados e “*stakeholder*”, em geral, percebem as vantagens de posicionamento de imagem que contemple responsabilidade socioambiental. Portanto, não é difícil imaginar que esse novo posicionamento seja integrado por uma nova visão, abrangente, sistêmica e holística, cujo discurso até pode ser mais facilmente compreendido por amplas parcelas da população que não têm treinamento rígido em sistemas cartesianos e não percebem, no racionalismo científico ocidental, respostas para todas as suas ansiedades cotidianas ou difusas.



## 4 AS UTOPIAS DO UNIVERSO NATURAL E AS RELAÇÕES IMPLÍCITAS

Bernardo Huberman era um pesquisador do centro de pesquisas da Xerox, em Palo Alto, e, certa vez, incursionou por uma área que tangenciava a biologia e a psiquiatria: tentou descrever um modelo para o movimento irregular dos olhos dos esquizofrênicos. É bem conhecido dos psiquiatras que os esquizofrênicos não conseguem acompanhar o movimento suave de um pêndulo. Partiu do princípio de que o modelo de rastreamento não linear mais simples podia configurar uma boa abstração genérica da situação, a despeito de detalhes específicos. A opção é sempre a mesma. Podemos tornar os modelos mais complexos e fiéis à realidade, ou podemos construir abstrações mais simples e de uso mais fácil. Dificilmente, consegue-se criar modelos que representem perfeitamente a realidade. É a mesma coisa que fazer um mapa, se forem colocar absolutamente todos os detalhes, ele se torna a própria realidade, o espaço físico que se quer representar.

A partir dessa abordagem, ficou claro que o modelo ideal de um sistema complexo e o ponto de partida para a abordagem da complexidade era de natureza biológica. Nenhum outro constructo consegue ser tão diferenciado em escalas e tão rico em alternativas fisiológicas individuais e coletivas.

À medida que os ecossistemas se tornam maiores, aumenta, em geral, sua complexidade. No momento do equilíbrio entre entradas e saídas (ou *inputs* e *outputs*), o tamanho do sistema tende a se manter estável. A quantidade de biomassa ganha a denominação de capacidade máxima de suporte. Qualquer alteração nela se denomina de perturbação para fins analíticos. Nos estudos de impacto ambiental, esses conceitos, mesmo que simples e de pleno domínio acadêmico, ainda são muito negligenciados. Até que ponto a retirada de uma vegetação para a construção de uma estrada produzirá perda de energia no sistema, nessa dimensão compreendida como uma estrutura holística, em nível de economia ambiental do planeta? O que frequentemente ocorre é a definição de uma medida compensatória de forma quase aleatória, em que uma supressão é compensada pela criação de uma reserva ambiental, sem que, com isso, ocorra nenhuma medida de energia aproveitada ou biomassa criada.

Isso é uma enorme simplificação, mas suficiente para exemplificar. No caso, está sendo subentendido um ecossistema natural, que depende estritamente da energia solar, sem



outros subsídios antropogênicos. Uma análise sobre sistemas urbano-industriais é muito mais complexa, pois esse subsistema é movido totalmente à energia subsidiada, de natureza fóssil, nuclear ou de qualquer outra fonte renovável ou não renovável.

A análise dos ciclos dos nutrientes sob a dimensão biogeoquímica apresenta muitas dificuldades práticas para execução e, por isso, frequentemente é apropriada em teoria. As medições laboratoriais encontram dificuldades operacionais e são negligenciadas. A importância das taxas de troca ou de transferência de um espaço para outro são mais importantes para a determinação da estrutura e função dos ecossistemas do que as quantidades estáticas presentes num determinado lugar. A vida tem sido compreendida como fluxos de matéria e energia, sem, com isso, menosprezar as estruturas individuais ou populacionais, que parecem mais resultantes dos fluxos do que geradoras dos movimentos (LOVELOCK, 1979 e FOOTE, 2007).

O ciclo do dióxido de carbono e o próprio ciclo hidrológico constituem os processos mais fundamentais para a humanidade (ODUM, 1988, p. 126). Até o começo da era industrial, os fluxos de carbono entre a atmosfera, os continentes e o oceano estavam aparentemente equilibrados. A partir desse momento, o  $\text{CO}_2$  tem se elevado por causa da contribuição antrópica e, quando se discute o fenômeno do aquecimento global, enumerando os vários fatores geológicos, em momento algum se negligencia de atribuir a elementos antropogênicos uma contribuição relevante, ainda que não mensurada completamente.

A queima de combustíveis fósseis, tanto na indústria quanto nos automóveis, é importante. Mas a agricultura e as queimadas também têm contribuições significativas, não triviais, que devem ser monitoradas e controladas de maneira responsável.

Um acréscimo de  $\text{CO}_2$  na atmosfera maior do que sua retirada ocorre porque o  $\text{CO}_2$  fixado nas culturas não compensa o  $\text{CO}_2$  liberado pelo solo. As plantas são reguladores muito sensíveis do equilíbrio do  $\text{CO}_2$ . A maioria das plantas aumenta sua taxa de fotossíntese quando a concentração de  $\text{CO}_2$  aumenta ou a concentração de  $\text{O}_2$  diminui.

Nada é mais disseminado na natureza e nos indivíduos naturais, animais, plantas ou a própria Terra, de que cada processo é único, absolutamente particular e individual como um organismo. Idiossincrático na descrição de um indivíduo e seu comportamento. Indutivo em ciências naturais como a medicina. Sempre se tiram a temperatura e a pressão de um paciente que reage sempre de forma absolutamente independente de outro. Se não fosse assim, haveria tabelas de temperatura e pressão por doença. Mas não é assim, é individual e particular a reação de cada organismo a cada condição.

Liebig percebeu que a produtividade das culturas de plantas estava limitada não pelos nutrientes maiores (macronutrientes), mas sim pelos nutrientes menores, como o zinco.



Ele expressou uma lei totalmente popularizada na agricultura e na botânica de que “o crescimento de uma planta é dependente da quantidade de alimento que se lhe apresenta em quantidade mínima”, a qual se tornou conhecida como a “lei” dos mínimos de Liebig.

O zinco está disponível em pequena quantidade nos solos, mas sua ausência produz uma ultrapassagem de limiar, uma relação de dependência sensível das condições iniciais que cria novas variáveis independentes e sinérgicas conhecidas como propriedades emergentes.

O princípio de Liebig tem restrições de uso. É aplicável estritamente sob condições de estado constante. É muito sensível à interação de fatores ou variáveis independentes. Eventualmente, os organismos podem substituir uma substância deficiente por outra quimicamente análoga. Em química orgânica, os fatores de controle da substituição são mais complexos, mas, em química inorgânica, denomina-se de substituição diadóxica e ocorre sempre que se substituem elementos por outros com raio iônico similar e eletronegatividade da mesma intensidade.

O oposto desse princípio é o conceito de Limite de Tolerância, um fator limitante que pode ser causado tanto pela insuficiência de algum material como por excesso. Os organismos podem apresentar grande intervalo de tolerância para alguns fatores e estreitas faixas de tolerância para outros.

É comum que ecossistemas que se desenvolvem em ambientes geológicos muito específicos, como gêiseres, fumarolas vulcânicas ricas em enxofre e outros, ofereçam grande diversidade no estudo dos fatores limitantes e dos mínimos necessários. Uma bactéria que dependa da presença de enxofre, porque já vive num ambiente enriquecido nesse nutriente, pode ser muito sensível à ausência desse elemento, quando está fora do seu habitat preferencial.

Por isso é tão primordial executar ensaios de laboratório com estrito controle de campo da experimentação, pois essa variável geralmente é fundamental na interpretação adequada dos resultados. E, além do próprio ambiente geológico em si, outras variáveis dependentes da biogeografia são muito mais fáceis de controlar, quando se aplicam esses conceitos no controle dos experimentos.

São narradas várias abordagens que ocorrem desde a época do trabalho de Liebig com os chamados “enriquecimentos artificiais, para facilitar a determinação de quais os nutrientes minerais seriam limitantes de determinadas situações. Essas experiências de enriquecimento artificial criam estados transitórios que não são constantes e, às vezes, podem gerar dificuldades na interpretação de resultados.



ODUM (1988) expressa a “Lei de compensação de fatores”, que é particularmente efetiva em nível de organização da comunidade, ocorrendo também dentro das espécies. Esse princípio estabelece que os organismos bióticos não são apenas dependentes do ambiente físico, eles se adaptam e modificam-se no meio físico, para reduzir os efeitos dos fatores limitantes, como temperatura, iluminação ou água.

As espécies, quando ocorrem em grandes áreas geográficas, desenvolvem populações com características locais, as quais se denominam “ecotipos”, que apresentam condições ideais e limites de tolerância tanto quanto possível ajustados às condições locais. Por isso, muitas vezes, a reintrodução ou o transplante de plantas e animais podem fracassar, porque foram usados indivíduos de regiões diferenciadas em vez de indivíduos adaptados à área específica local.

Cada meio tem seus fatores reguladores de maior significação, não existem fatores de importância universalizada. A cultura da soja, tão disseminada atualmente, tem como um dos principais fatores limitantes seu fotoperiodismo. Essa é uma manifestação circadiana (*circa* significa cerca de, e *dies* é dia). Isto é, a capacidade de programar e repetir as funções em intervalos aproximados de um dia.

A duração do dia atua através de receptores sensoriais, análogos ao aparelho visual, em animais, ou a pigmentos, em plantas. Os pigmentos ativam sistemas integrados de hormônios e enzimas que trazem resposta fisiológica ou comportamental. A mensuração do tempo, nesse processo, é sempre um pouco enigmática e controversa. O fotoperiodismo é notável em algumas espécies insetívoras.

Os principais fatores limitantes físicos são temperatura, radiação (luz), as radiações ionizantes, a água superficial ou subterrânea, a geomorfologia, os climas, os gases atmosféricos, sais biogênicos (que atuam como macro e micronutrientes), as correntes e pressões da atmosfera, a natureza dos solos, além da ação sinérgica da temperatura e da água, que produz uma nova configuração de fatores que emerge da associação. Os fatores limitantes não são apenas de natureza física. As interações e relações biológicas e bioquímicas são muito importantes no controle e na distribuição das quantidades de organismos faunísticos e florísticos na natureza.

Quase todos esses fatores citados apresentam vários subfatores. O controle da importância dos solos depende da sua textura (que é a quantidade física de areia, silte e argila que constitui o agregado), da quantidade de matéria orgânica e da capacidade de troca catiônica, que é uma estimativa dos nutrientes passíveis de serem trocados e, portanto, disponibilizados para a vida.



Existem fatores limitantes de natureza antropogênica, como a erosão dos solos pelo manejo inadequado. Isto prejudica todo o ecossistema, alterando drasticamente as possibilidades de armazenagem e troca dos nutrientes: vejamos o exemplo do uso do fogo como técnica de manejo da vegetação. O fogo destrói boa parte da microflora e microfauna dos solos, que é responsável por vários ciclos biogeoquímicos, como as bactérias nitrificantes, que retiram nitrogênio do ar e fixam o elemento no solo para utilização pelos vegetais de qualquer origem, tanto nativos quanto cultivados.

Esses elementos de microflora e microfauna são muito importantes no equilíbrio biogeoquímico e muito afetados pelos manejos territoriais, através das queimadas ou coivaras, que são um método tradicional de manejo já utilizado pelos índios nativos. O uso extensivo de pesticidas, fungicidas e herbicidas também afeta muito tanto a microflora e a microfauna, como os pequenos animais e plantas em geral.

Essas relações implícitas são absolutamente conhecidas de todos os atores envolvidos no processo e totalmente negligenciadas para a oportunidade de que se tornem uma ruptura (a gota de água no copo) e exijam outra visão e outra atitude diante do problema. Há consenso que, com a aplicação de certos defensivos agrícolas, ocorre quase uma esterilização biológica do elemento físico solo. Episódios de desaparecimento de abelhas ou insetos, em geral, para realizar a polinização das culturas, são descritos de forma cada vez mais frequente. No entanto, incrivelmente, espera-se uma situação de ruptura (que não é o caos, sendo o caos entendido como fenômenos não lineares), para adotar novas ações, procedimentos e estratégias.

O "agribusiness" brasileiro tem uma tendência marcante em se dirigir no rumo das monoculturas absolutas. Monocultura de animais e plantas. Reconhece muitos dos problemas advindos dessa postura, mas, em nome de uma suposta "racionalidade" imposta pela lucratividade, não consegue alterar seus paradigmas de produção.

Já se expôs, com suficiente argumentação, que os elos de uma corrente dependem do elo mais fraco. A resistência dos ecossistemas é formada pelas resistências do conjunto de elementos que os compõem. Se tivermos vários animais, uma espécie é mais resistente a determinado tipo de enfermidade e outra, a outros tipos de doenças e a resultante é que o conjunto do ecossistema consegue ter a resistência da soma de resistências dos elementos que o compõem. Assim é com as plantas.

Isso lembra muito os princípios de permacultura. Os australianos Bill Mollison e David Holmgren, criadores da Permacultura, lapidaram essa expressão nos anos 70, para referenciar um sistema evolutivo integrado de espécies vegetais e animais perenes úteis aos



seres humanos. Estavam buscando os princípios de uma forma de agricultura que fosse estável, equilibrada, permanente e sustentável.

Logo depois, o conceito evoluiu para um sistema de planejamento para a criação de ambientes humanos sustentáveis, como resultado de um salto na busca de uma cultura permanente, envolvendo aspectos éticos, socioeconômicos e ambientais. A permacultura oferece as ferramentas para o planejamento, a implantação e a manutenção de ecossistemas cultivados no campo e nas cidades, de modo a que eles tenham a diversidade, a estabilidade e a resistência dos ecossistemas naturais. Alimento saudável, habitação e energia devem ser providos de forma sustentável, para criar culturas permanentes.

Está implícita, nesse conceito, a ideia da resistência natural dos ecossistemas, que é formada pela adição das resistências das diversas espécies e populações. Denomina-se “design” o conjunto de tarefas de planejamento consciente, para tornar possível a utilização da Terra sem desperdício ou poluição; a restauração de paisagens degradadas e o consumo mínimo de energia.

A ação da permacultura começa por áreas agrícolas, com o propósito de reverter situações dramáticas de degradação socioambiental. No entanto, os sistemas permaculturais devem evoluir, com designs arrojados, para a construção de sociedades economicamente viáveis, socialmente justas, culturalmente sensíveis, dotadas de agroecossistemas que sejam produtivos e conservadores de recursos naturais.

Essa escola exige uma mudança de atitude, que consiste, basicamente, em fazer os seres humanos viverem de forma integrada ao meio ambiente, alimentando os ciclos vitais da natureza. Como ciência ambiental, reconhece os próprios limites e, por isso, nasceu amparada por uma ética fundadora de ações comuns para o bem do sistema Terra.

Como parte dos sistemas vivos da Terra e tendo desenvolvido o potencial para impactar a sustentabilidade do planeta, como já assinalado por TER STEPANIAM (1970), nós temos como missão criar agora uma sociedade nova. Essa sociedade depende não apenas da técnica e dos equilíbrios físicos, químicos ou biológicos, mas também de justiça, igualdade e fraternidade, sinérgica com a natureza e de maior colaboração entre os vários povos, as culturas e as religiões.

Essa nova abordagem busca estabelecer relações harmoniosas entre as pessoas e os elementos da paisagem. A permacultura é abrangente e holística e busca princípios e métodos de design, para orientar padrões naturais de crescimento e regeneração, em sistemas perenes, abundantes e autorreguladores.

A utopia da vida, com todos os elementos e as relações que se descrevem, é muito maior do que o simples Terraplaneta Terra, pois deve haver vida, ainda que de outras



formas, em outras galáxias ou mesmo dimensões e, portanto, a vida é muito importante e complexa, para ser tratada dessa forma. A complexidade pode ser interpretada como um conjunto de simplicidades reunidas em uma série, sequência ou um conjunto de relações em que produz novos fatores ou não, a qual pode ser modelada em equações lineares ou em geometrias fractais, necessitando de abordagens não lineares.

ODUM (1988) já explicita estresse antropogênico e resíduos tóxicos como fatores limitantes para sociedades industriais. Até mesmo o equilíbrio biogeoquímico do ozônio é citado, além de poluição térmica e a questão dos pesticidas. O “The Natural Step” ainda é relativamente complexo quanto à aplicação cotidiana por parte das empresas, sendo proposto por uma organização independente, que apresenta uma metodologia para atingir sustentabilidade empresarial. Considera a concentração das substâncias extraídas da crosta terrestre, concentração das substâncias produzidas pela sociedade, degradação do meio físico e do meio biológico e as necessidades humanas (BARBIERI, 2004). Mas seu princípio de funcionamento envolve, claramente, a questão suscitada pelos defensivos agrícolas e sua forma de uso.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A forma que encontramos, para argumentar, neste texto, a validade de um novo paradigma nas ciências naturais e, particularmente, na questão ambiental foi relacionar princípios dentro de um contexto de ética e discussão epistemológica, entre ciências que aparentemente não têm qualquer intimidade, mas que, sendo aos poucos discutidas, mostram total analogia, como forma argumentativa de estabelecer novos parâmetros, para que se produzam novas abordagens e a amplificação de conceitos.

Parece claro que a não linearidade consegue descrever um padrão de ordem naquilo que sempre foi interpretado como desordem ou aleatoriedade. Não que todos os fenômenos devam, necessariamente, apresentar padrões. Na própria epígrafe deste trabalho, apresenta-se uma conceituação de modelagem, particularmente utilizada na ciência, para que se entenda como funciona a ciência acadêmica propriamente dita.

O cientista procura um modelo, um constructo, matemático ou compreensivo, que, de alguma forma, seja capaz de reproduzir fenômenos universais ou estabelecer princípios e regras de ocorrências que tenham reprodutibilidade no planeta ou mesmo em nível de cosmos.

Muitas são as realidades lineares ou que respondem bem a funções lineares, sejam elas retas dentro da geometria euclidiana ou curvas oscilatórias. Todos sabem que, em princípio, à medida que aumentamos o consumo de gorduras, tende a se ampliar a ocorrência de colesterol.

Mas há fenômenos e suas respectivas grandezas que não respondem bem a essas equações e que mesmo sistemas de descrição de complexidade matemática relevante não conseguem descrever aceitavelmente. Fatores relacionados com descrições experienciais relacionados à “Teoria do Caos”, como a “dependência sensível das condições iniciais”, fatores de aleatoriedade e acumulação subjetiva, como a expectativa dos seres humanos, ou fatores volitivos tanto de animais irracionais quanto racionais, associados a princípios de holomorfismo, tão consensuais nas ciências da Terra, com princípios de capilaridade e vascularização, que demonstram total analogia com sistemas fractais e que se relacionam com contatos gradacionais entre rochas profundas, princípios de medicina ortomolecular, que guardam analogia com a lei dos mínimos, de Liebig, e outros, que podem se relacionar com



o princípio das propriedades emergentes descrito por ODUM (1988) e outros.

De alguma forma, traçar todas essas relações é um desafio que temos consciência de mal rasparmos na superfície de tudo que pode ser feito nesse campo do conhecimento, desde a descrição de fenômenos até a compreensão deles e sua generalização em um modelo representativo e significativa da realidade.

Mas o objetivo desta discussão era iniciar essa abordagem holística e sistêmica das várias ciências, a qual se propõe, de alguma forma, a subsidiar abordagens que, modernamente, são essenciais na descrição e interpretação realizada pelas ciências ambientais.

A abordagem deste texto deixa bem claro que a “Teoria do Caos” não representa nenhuma teoria mágica capaz de subsidiar visões dentro do campo ambiental, seus princípios apenas podem contribuir no cenário interpretativo, tanto quanto princípios das ciências da Terra, da moderna ecologia, da medicina que lida com seres naturais, da economia, em que se empregam teorias de expectativas, como a teoria dos jogos e outros.

Em momento algum, argumenta-se que esses princípios possam responder sozinhos pelas descrições dos cenários. Tampouco se abandona a visão científica tradicional, lógica formal, aristotélica e cartesiana na descrição dos fenômenos.

Apenas se propõe que a costura dessas variadas abordagens deve ser utilizada no emolduramento dos cenários de vários fenômenos da natureza, que, por variadas razões, não são passíveis de serem descritos dentro de uma visão especificamente cartesiana e linear.

E o texto busca, através da descrição do relacionamento de variados princípios que, aparentemente, são desconectados, uma justificativa plena e argumentada da validade de emprego dessas conceituações nas variadas formas de interpretação dos fenômenos da natureza.

O texto guarda plena consciência das limitações que tem, ao propor relacionamentos que, certamente, não ganharão significação e de outros que serão muito mais validados e ampliados. Nesse sentido, compreende a ciência como instrumento de especulação, formulação de ideias e princípios e disseminação de conhecimentos, os quais vão ganhar maturidade e relevância em muitas ideias e serão descartados como não validados ou pouco significantes em outras abordagens propostas.



## REFERÊNCIAS

- BARACHO JÚNIOR, José Alfredo de Oliveira. **Responsabilidade civil por danos ao meio ambiente**. Belo Horizonte: Del Rey, 2000.
- BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental organizacional: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004.
- BARBIERI, José Carlos. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21**. Petrópolis: Vozes, 1997.
- BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1975, 680 p.
- BIEDRZYCKI, J. A. **Responsabilidade social – um instrumento de articulação entre o Estado, o mercado e a sociedade civil**. 2005, Monografia (Curso de Pós-graduação em Responsabilidade social e gestão ambiental – MBA – especialização). Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2005.
- CALLENBACH, E. et al. **Gerenciamento ecológico: ecomanagement**. Guia do Instituto Elmwood de Auditoria Ecológica e Negócios Sustentáveis. São Paulo: Cultrix/Amaná, 1993.
- CAPRA, FRITJOF. **O ponto de mutação**. São Paulo: Ed. Cultrix, 1982.
- CAPRA, FRITJOF. **O Tao da Física**. São Paulo: Ed. Cultrix, 1975.
- CAVALCANTI, C. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez Editora, 1995. 429 p.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**, 2.ed., Rio de Janeiro, FGV, 1991, 430 p.



- ELKINGTON, John. “**The triple bottom line for the 21st-century business**”. In: STARKEY, Richard & WELFORD, Richard. *Business & sustainable development*. Londres, Earthscan, 2001, pp. 20-43
- FERNANADES, B. H. R. e BERTON, I. H. **Administração estratégica: da competência empreendedora à avaliação de desempenho**. São Paulo: Saraiva, 2005.
- FLORES, Shana Sabbado. **Alinhamento Estratégico dos Objetivos de Sustentabilidade na Cadeia de Fornecedores da Copesul**. Trabalho de conclusão de curso, Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- FOOTE, R. **Mathematics and complex Systems**. *Science*, Vol. 318, p. 410-412, 2007.
- GLEICK, J. **Caos A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus 1989, 312p.
- INSTITUTO ETHOS. *Responsabilidade social empresarial nos processos gerenciais e nas cadeias de valor*. São Paulo, 2006, 100p. <[http://www.uniethos.org.br/\\_Uniethos/Documents/proces\\_gerenciais\\_web.pdf](http://www.uniethos.org.br/_Uniethos/Documents/proces_gerenciais_web.pdf)> Acesso em 27 de agosto de 2012.
- LEMONS, A. D. C. et al. **Responsabilidade socioambiental e percepção dos consumidores**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO ORGANIZACIONAL E MEIO AMBIENTE, Rio de Janeiro, **Anais ...** Rio de Janeiro, FGV, 2005 CD ROM.
- LOVELOCK, J. E. e EPTON, S. R. **The quest for Gaia**. *New Scientist* 65:304-306, 1975.
- LOVELOCK, J. E. e MARGULIS, L. **Atmosphere Homeostasis by and for the biosphere: The Gya hypothesis**. *Tellus* 26:1-10, 1973.
- LOVELOCK, J. E. **Gaia: A new look at life on the earth**. New York: Oxford University Press, 1979, 157p.
- MARGULIS, L., e LOVELOCK, J. E. **Biological modulation of the earth's atmosphere**. *Icarus* 21:471-489, 1974.
- MARGULIS, L., e LOVELOCK, J. E. **The atmosphere as circulatory system of the biosphere – The Gaia hypothesis**. *Coevolution Quarterly*, Summer, 1975.



- MASANI, P. (org.). “**Nonlinear Predictions and Dynamics**”. Collected Works with Commentaries. Cambridge, Mass., The M. I. T. Press, 3:371, 1981.
- NASCIMENTO, L. F.; LEMOS, A. D. C. e MELLO, M. C. A. **Gestão socioambiental estratégica**. Porto Alegre: Bookman, 2008, 232p.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.
- OLIVEIRA, Roberto Guena & ALDRIGHI, Dante Mendes. “**Governança corporativa: para que e para quem?**”. FIPE. Informações. vol. 240, São Paulo, set. 2000.
- ONU, Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – **Nosso futuro comum**. 2.ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991. 428 p.
- SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável**; BURSZTYN, M. (Org.) et al. Ed. Brasiliense, 2004, p.29-56
- SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21 em sinopse**. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 1996. 41 p.
- SÉGUIN, Elida. **O direito ambiental: nossa casa planetária**. Rio de Janeiro: Forense, 2000.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. **Geologia: A Ciência da Terra**. XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia. Rio de Janeiro: SBG, 1984.
- TER STEPANIAN, G. **Beginning of the Technogene**. Bulletin IEAG, nº 1, ago. 1970.
- VEIGA, P. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. São Paulo: Ed. Hucitec, 2005. 197p.
- VENOSA, Sílvio de Salvo. **Direito civil: responsabilidade civil**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- VIEIRA, Liszt; BREDARIOL, Celso. **Cidadania e política ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 1998.
- WOOD Jr., Thomaz. **Vitória de Pirro**. Carta Capital, São Paulo, ano XI, n. 328, p. 35, 9 fev. 2005.

