

A SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS COMPLEXOS

Conceitos básicos para uma ciência do desenvolvimento
sustentável

Aspectos Teóricos e Práticos

Norbert Fenzl

Capítulo II

A Teoria de Sistemas Complexos

Conteúdo

Que é um sistema complexo?	3
Características principais dos Sistemas Complexos	6
A interdependência das partes.....	6
A abrangência das escalas de espaço e tempo	6
As relações não lineares entre as partes.....	7
A capacidade de comportamentos emergentes.....	7
A relação dialética entre Caos e Ordem.....	7
A relação dialética entre Cooperação e Competição.....	7
A relação entre as partes e o todo	7
Sistemas complexos possuem um metabolismo energético	8
Sistemas complexos têm uma história.....	8
Elementos da Teoria de Sistemas Complexos (TSC).....	8
Sistemas isolados, fechados e abertos	8
As dimensões do sistema complexo	9
O campo de emergência	10
Elemento, coerência, coesão e estado estacionário.....	11
Estrutura, inércia estrutural e substância	12
Fronteira estrutural	12
O Metabolismo Energético Material.....	13
O Campo de interação e fronteira do sistema	13
A auto-organização	14
A Emergência de sistemas complexos	15
O papel da Termodinâmica.....	15
<i>Breve história da Termodinâmica</i>	15
<i>Calor e Temperatura</i>	17
Temperaturas baixas	17
Temperaturas elevadas.....	18
<i>As Leis da Termodinâmica e suas implicações</i>	18
Emergência e Entropia	19
<i>Energia e Trabalho</i>	20
<i>Movimento, Caos e Ordem</i>	21
A Evolução de sistemas complexos.....	22
A irreversibilidade.....	22
A probabilidade.....	23
A Nova Qualidade.....	23
Laboratório e Natureza.....	24
Atualidade, Realidade e Liberdade	25
Introdução.....	25
Objeto e Sujeito em sistemas complexos	26
Conclusão	27
Allopoiésis e Autopoiésis.....	27
As bases teóricas da Autopoiésis	28
As bases empíricas do conceito	28
Autopoiésis e a teoria de sistemas	30
A evolução da matéria	31
Os primeiros três minutos do Universo	32
O primeiro milhão de anos do Universo.....	33
Referências	35

Que é um sistema complexo?

Para a teoria de sistemas o universo é interligado através de *relações energéticas* entre *estruturas materiais* que seguem certo número de *regras, leis e princípios*.¹

Tradicionalmente a análise científica escolhe seu *objeto de investigação* e aplica um número definido de passos metodológicos para tentar desvendar o seu funcionamento. De esta maneira o observador *corta* um segmento definido de um *universo de relações* e o analisa *individualmente*. As ciências clássicas isolam assim os seus *objetos* de pesquisa do seu *ambiente*, o dividem em suas *partes*, descrevem e analisam as partes com a esperança de poder compreender o funcionamento do objeto como um todo.

Entretanto, quando queremos compreender o funcionamento de sistemas biológicos, ecossistemas, sócio-sistemas ou problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável, não estudamos *objetos mecânicos* senão *sistemas complexos* que apresentam características e qualidades que não podem ser deduzidas e entendidas *somente* a partir da análise (por mais precisa que seja) das partes.

Assim, para entender e desenvolver instrumentos de intervenção operacionais em sistemas complexos é preciso unir numa matriz metodológica coerente:

(i) a análise das *partes* e de suas *relações* e

(ii) a análise das *relações* entre o *conjunto das partes* – a estrutura do sistema - com o *ambiente*.

Em última instância podemos resumir: para a teoria de sistemas a questão principal é:

- *Como* descobrir e investigar estas *qualidades novas* que resultam da interação de suas partes e das partes com o ambiente?

- E, sobretudo, quais são os *instrumentos operacionais* que poderão ser desenvolvidas a partir desta compreensão que possam ser úteis para *intervir e modificar o desenvolvimento* de tais sistemas complexos?

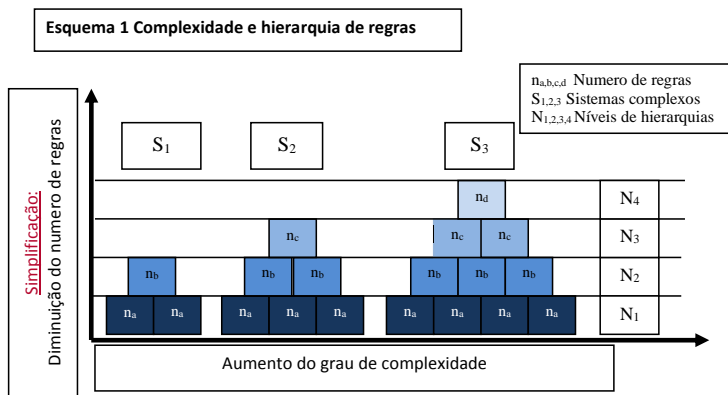
Este enfoque sistêmico tem conseqüências metodológicas importantes, que serão discutidas neste capítulo.

O termo *sistema complexo* (SC) refere-se, geralmente, a um conjunto de partes, em diferentes escalas e níveis de organização, integrados e ligados entre si de uma forma *não linear*. Em outras palavras, é um conjunto de múltiplas interações entre diferentes componentes e por serem não lineares, os sistemas complexos apresentam características que são *mais* do que a simples *soma de suas partes*. Na prática isto significa que sistemas complexos apresentam *qualidades novas – emergentes* - que não podem ser deduzidas das qualidades individuais dos seus componentes.² *Complexidade* não pode ser confundida com *complicação* ou com “quanto mais complexo mais complicado”. Pelo contrario, o grau de complexidade de um sistema aumenta com o número de *níveis* de regras que operam as suas partes. Na evolução assistimos a *saltos de qualidade* na organização dos sistemas quando surgem hierarquias de organizações com regras próprias que constituem um importante passo de *simplificação* na organização do sistema como um todo. Na medida em que passamos aos níveis superiores da hierarquia o número de regras que definem a organização geral do sistema tende a diminuir. Por exemplo, o comando dado por um cérebro “levantar e andar” não precisa tomar em consideração os milhões de interações e regras existentes

¹ Relação energética é usada aqui nos termos mais amplos: assim, por exemplo, relações entre pessoas são incluídas nesta terminologia.

² Maiores informações sobre não linearidade: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Não-linear>

entre as diferentes partes do corpo que são necessárias para executar esta ação. Ou, no caso de movimentos sociais: por mais complexas que sejam as interações entre os indivíduos, o movimento social se mobiliza através de bandeiras relativamente simples que expressam situações altamente complexas, como se pode constatar no movimento das chamadas "diretas já", que ocorreu no Brasil, na década de 1980. Finalmente, um exemplo bastante ilustrativo é a constituição de um país: trata-se de um conjunto de leis hierarquicamente superior ao conjunto de todas as leis e regras que regem a convivência dos indivíduos de uma nação. O Esquema 1 mostra a relação entre quantidade e hierarquia de regras e o grau de complexidade dos sistemas 1, 2 e 3.



Formatado: Centralizado

Formatado: Borda: Esquerda: (Simples, Automática, 0,5 pt Largura da linha)

Uma das primeiras definições da palavra *sistema* surgiu em 1874, no dicionário "*Meyers Konversationslexikon*", na Alemanha, que diz "[...] *sistema é um conjunto de partes organizadas em um todo*[...]". Subentendiam-se ainda as *partes* como *objetos mecânicos* obedecendo às leis da mecânica clássica.

Durante os séculos de dominação da visão newtoniana e cartesiana do universo, as ciências consideravam seus diversos objetos de investigação como *objetos de fato*, unidimensionais, sujeitos exclusivamente as leis da *mecânica clássica*. Somente no final do século XIX, o espaço interno - *espaço microscópico* - dos objetos começou a ser entendido através de experiências empíricas que descobriam a existência da molécula e do átomo. Desta maneira os *objetos* se tornaram *sistemas* bi-dimensionais, compostas de duas dimensões de espaço-tempo: a dimensão macroscópica e a dimensão microscópica.

Um passo importante neste sentido foi dado com o surgimento da *termodinâmica estatística*. Ludwig Boltzmann, físico e matemático austríaco, estabeleceu uma relação logarítmica entre *entropia* e *probabilidade* expressa através da famosa equação:³

$$S = k \cdot \log.W.$$

Sendo (S) a entropia de um sistema,

$k = 1.3806505(24) \times 10^{-23}$, a constante de Boltzmann e

³ **Ludwig Eduard Boltzmann** (1844 - 1906), apesar de ser um físico famoso, não agüentou a enorme rejeição que sua descoberta causou no mundo dos físicos da época, devido ao fato de ter introduzido uma probabilidade numa ciência considerada exata *par excellence!* Ele entrou em depressão e se suicidou no dia 5 de setembro de 1906 e a fórmula $S=k \cdot \log.W$ se encontra gravado no seu túmulo.

W expressa o número de *prováveis estados microscópicos* - que correspondem a um *estado macroscópico estável*. Isto significa que a dimensão macroscópica de um sistema pode ser *determinada* através de parâmetros empiricamente acessíveis, tais como temperatura, volume, pressão etc., enquanto estados microscópicos somente podem ser descritos como probabilidade. Com isto, Boltzmann descobriu que os estados macroscópicos e microscópicos são dimensões de espaço-tempo com qualidades diferentes de um mesmo sistema que se relacionam de forma probabilística. Assim, o **estado microscópico** e a **probabilidade** deram entrada formal nas ciências exatas.

O próximo passo foi dado com as novas maneiras de compreender a *natureza não humana*, do nosso ambiente natural. Na década de 30, basicamente com os trabalhos do botânico inglês Sir Arthur Tansley⁴, surgem os conceitos de *ecologia* e *ecossistema*. A partir desta época, o *ambiente* tornou-se outro centro das atenções e o conceito de sistema foi de certa maneira "aberto para fora", ganhando mais uma dimensão: o ambiente. ODUM (1999+2007), ATKINS (1986), MOCEK (1986), PRIGOGINE & STENGERS (1993).

Desta maneira, os objetos unidimensionais começaram a tornar-se sistemas com diferentes dimensões: um *espaço interno* (microscópico) e um *espaço externo* (macroscópico), cujas relações precisavam ser estudadas e entendidas. De certa maneira podemos dizer que a idéia do sistema complexo nasceu com a percepção que a realidade do mundo que observamos é composta por sistemas cujas características são definidas pelas relações entre os seus espaços internos e externos.

Finalmente, nas décadas de 40 e 50, o biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy⁵, desenvolveu a Teoria Geral de Sistemas (TGS) como aproximação sistemática e científica à realidade que nos cerca e uma orientação prática para a trans - e interdisciplinaridade (BERTALANFFY, 1976).

A TGS surge como uma resposta à exaustão e inaplicabilidade das abordagens analítico-reducionistas e seus princípios mecanicistas. Bertalanffy (1976) enquanto biólogo buscava um novo paradigma fundamentado na noção de *conjunto orgânico*, enquanto que o paradigma cartesiano foi fundada sobre uma imagem do *mundo inorgânico*.

Os objetivos de Bertalanffy eram:

- desenvolver uma terminologia geral para descrever as características, funções e comportamentos de sistemas complexos;
- desenvolver um conjunto de leis aplicáveis aos comportamentos de um sistema complexo;
- a promoção de uma formalização científica destas leis.

Para Bertalanffy a TGS era um mecanismo de *integração entre as ciências naturais e sociais* e uma ferramenta básica para a formação e preparação dos cientistas. Neste sentido, a Sociedade Geral de Sistemas de investigação, criada em 1954, teve como objetivos:

- Investigar o isomorfismo de conceitos, leis e modelos em vários campos das ciências e facilitar as transferências entre os mesmos;
- Promover e desenvolver modelos teóricos em áreas em que há falta deles;

⁴ **Sir Arthur George Tansley** (1871-1955), botânico inglês, pioneiro da ecologia, criou o termo ecossistema em 1935 e ecotópio em 1939. Fundador da Sociedade britânica de Ecologia e editor do *Jornal Ecological Society*.

⁵ **Karl Ludwig von Bertalanffy** (1901-1972) foi o criador da Teoria Geral de Sistemas. Cidadão austríaco desenvolveu a maior parte do seu trabalho científico nos Estados Unidos. Foi filósofo e biólogo e discordava com a visão cartesiana do universo e criou a idéia que um sistema é um todo maior que a soma das suas partes. Criticou a divisão das ciências em diferentes áreas com dificuldades de comunicar e sugeriu que devemos estudar sistemas holisticamente e buscar compreender as qualidades que não se encontram em seus componentes isolados.

⁶ <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/101/10100306.pdf>

- Reduzir a duplicação de esforços teóricos;
- Promover a unidade das ciências através da criação de princípios que unifiquem conceitos e metodologias científicas.

No decorrer da segunda metade do século passado a *cibernética* (N. Wiener), a *teoria da informação* (C.Shannon e W.Weaver) e a *dinâmica de sistemas* (J.Forrester) enriqueceram a TGS criando os fundamentos de uma *Teoria de Sistemas Complexos (TSC)*, que hoje está surgindo como base teórica das abordagens que giram em torno do conceito de desenvolvimento sustentável. Mesmo não sendo mencionada explicitamente como *teoria do desenvolvimento sustentável*, ela aparece claramente como matriz teórica, por exemplo, nos trabalhos de Daly e Sachs, mencionados nos capítulo anterior e, sobretudo nas abordagens práticas do desenvolvimento sustentável, como a Análise de Fluxos Materiais (AFM), Sistemas de Indicadores (SI), Análise de Ciclos de Vida (ACV), Ecological Footprints, e outros que serão tratados nos próximos capítulos.

Finalmente, a TGS também demonstrou seu enorme potencial explicativo nas ciências sociais (Nicolas Luhmann), estudos ecológicos e culturais (e.g. M.Sahlins, R.Rappaport), ciências políticas (e.g. K.Deutsch, D.Easton), organização e empresas (e.g. D.Katz y R.Kahn) e estudos antropológicos y sociológicos de um modo geral.

Características principais dos Sistemas Complexos

As dificuldades de entender e trabalhar com sistemas complexos provêm do fato que eles apresentam comportamentos inesperados e aparentemente desordenados. Diferentemente dos sistemas lineares, SC são muito mais *flexíveis* em relação à mudanças ambientais ou perturbações de diferentes ordens e são capazes de *regenerar por esforço próprio*.

Os sistemas complexos apresentam características muito particulares dos quais os mais importantes são enumeradas em seguida e serão tratados com detalhes nos capítulos seguintes.

A interdependência das partes

Uma das características interessantes dos SC é o fato de que apesar da independência e da flexibilidade das relações entre as partes, elas são bastante *interdependentes* em relação à *manutenção da coerência do sistema* como um todo. Vejamos por exemplo uma sociedade de abelhas: basta eliminar a rainha e o sistema entra em colapso. Ou, por exemplo, numa cidade bastaria a eliminação da polícia ou do sistema de coleta de lixo para entrar em profunda crise.

A abrangência das escalas de espaço e tempo

Sistemas complexos abrangem basicamente *três dimensões* de espaço-tempo: o *espaço interno* (microscópico), o *espaço intermediário* (mesoscópico, constituído pela fronteira estrutural), e *espaço externo* (o ambiente e a fonte dos recursos energéticos). Estas dimensões constituem uma *unidade dialética*.⁶

Por exemplo: processos que ocorrem no espaço interno do corpo de uma pessoa em segundos (p.ex. o nível dos neurônios ou células) podem ter efeitos de longo prazo para o indivíduo e inclusive para muitos indivíduos do seu ambiente. Se considerarmos como sistema a humanidade,

⁶ Estas tres dimensões serão tratadas com maiores detalhes nos proximos capitulos.

podemos ver como decisões tomadas por indivíduos num curto espaço de tempo, podem ter efeitos em escala histórica para muitas gerações.

As relações não lineares entre as partes

Enquanto em sistemas lineares, os efeitos são *sempre* diretamente proporcionais às causas, isto não é o caso em sistemas complexos. Nesses últimos, pequenas perturbações no nível microscópico podem causar: (i) um *grande efeito* no sistema todo (efeito borboleta), (ii) um *efeito proporcional* à perturbação, ou (iii) *efeito algum*. Por exemplo, no corpo humano um pequeno acidente cardiovascular de tamanho milimétrico pode causar a morte do indivíduo ou passar completamente despercebido. Uma única decisão política pode causar guerras e revoluções de resultados completamente inesperados ou não produzir efeito nenhum.

A capacidade de comportamentos emergentes

Devido à abrangência e interdependência de dimensões de espaço-tempo de um sistema, um fenómeno observado, por exemplo, no espaço externo é chamado de *emergente* quando este não pode ser observado nos elementos ou partes que compõem o espaço interno do sistema. Esta é uma consequência direta do princípio que "o sistema é mais do que a soma das partes". Por exemplo, caminhar, trabalhar, dançar etc. são comportamentos emergentes que nunca poderão ser compreendidas através dos estudos isolados do cérebro ou das pernas.

A relação dialética entre Caos e Ordem

O movimento das partes (elementos) de um sistema (movimento microscópico) é *caótico* em relação à *ordem* e a estabilidade macroscópica do sistema como um todo. Por exemplo, imaginamos uma micro-câmera instalada nas costas de uma formiga e observamos os movimentos das formigas a partir desta perspectiva. O resultado será um movimento totalmente caótico que não permitiria entender a estabilidade e a ordem (a lógica da organização) do formigueiro inteiro.

A relação dialética entre Cooperação e Competição

Em sistemas complexos a competição entre as partes para a própria *manutenção energética individual* e a cooperação entre as partes para a *manutenção da coerência geral do sistema*, coexistem e constituem uma unidade dialética inseparável e imprescindível para a existência do sistema.

Por exemplo, cada indivíduo precisa garantir sua sobrevivência muitas vezes em concorrência (as vezes até feroz) com seus concidadãos mais próximos. Entretanto, a mesma pessoa é capaz de cooperar se o grupo, a família, a cidade ou o povo em geral for ameaçado.

Outro exemplo são as burguesias dominantes do mundo que sempre precisavam da cooperação dos seus respectivos povos e da cooperação organizada dos seus exércitos para garantir seus espaços de dominação econômica e política. O exemplo mais dramático é tal vez a história da Alemanha nazista, quando as classes dominantes eram capazes de engendrar uma ampla cooperação do povo alemão, apesar das profundas e violentas contradições entre a burguesia emergente e a classe trabalhadora alemã.

A relação entre as partes e o todo

O efeito causado por ações de certos componentes (elementos, partes) de um sistema (individualmente ou em grupos) podem causar as seguintes respostas sistêmicas:

- como *feedback negativo*, quando o efeito é amortizado pelo sistema;
- como *feedback positivo* quando o efeito é ampliado dentro do sistema;
- como *feedback nulo*, quando não há efeito nenhum dentro do sistema.

Em todos os casos, enquanto o sistema pode até não mostrar nenhuma reação, o componente causador sempre sofrerá a influência do *feedback* do sistema.

Sistemas complexos possuem um metabolismo energético

Todos os sistemas complexos da natureza precisam manter sua coerência estrutural através de entradas, aproveitamento interno e saídas de energia. Este processo é chamado de metabolismo energético (ou gradiente termodinâmico) e será tratado com detalhe nos próximos capítulos.

Sistemas complexos têm uma história

Por serem dinâmicos, os sistemas complexos se modificam de maneira irreversível ao longo do tempo. Assim, estados do passado têm influência nos estados presentes e os sistemas complexos têm, portanto, uma história, e evoluem no tempo, apesar da freqüente exibição de um comportamento de *histerese*⁷.

Elementos da Teoria de Sistemas Complexos (TSC)

Para entender a utilidade da Teoria de Sistemas Complexos (TSC) é necessário definir com precisão os conceitos que definem as características principais dos sistemas complexos.

A TSC é, de um lado, uma *metalinguagem* científica que permite descrever e definir o "objeto de investigação" em qualquer área do conhecimento e conseqüentemente tornou-se a *linguagem da interdisciplinaridade*.

Por outro lado a TSC é um *método*: a descrição sistêmica do alvo da investigação científica é um trabalho metodológico capaz de mostrar as *relações entre as diferentes dimensões de espaço-tempo do sistema*, o que permite uma ampliação radical do horizonte de percepção do observador em relação ao seu objetivo de investigação.

Por esta razão, a utilidade da TSC é estreitamente ligada à precisão dos conceitos que constituem esta teoria.

Sistemas isolados, fechados e abertos

De maneira geral, a TSC distingue entre sistemas *isolados, fechados e abertos*.

Os sistemas isolados fogem do nosso acesso empírico, porque não trocam nem energia, nem matéria com seus ambientes.

Nosso interesse se concentra nas categorias dos sistemas *fechados* que trocam *somente energia* com seu ambiente e, sobretudo, nos sistemas *abertos* que trocam *energia e matéria* com seus ambientes. A importância destes dois tipos de sistemas reside no fato que o nosso planeta sendo um sistema fechado (recebe somente energia do universo, basicamente solar) é composto basicamente de sistemas abertos encadeados entre si.

Estes dois tipos de sistemas dominam os processos de evolução e apresentam características que desafiam a visão mecanicista do universo: eles não estão em *equilíbrio*, apresentam a capacidade

⁷ **histerese** é a tendência de um material ou sistema conservar suas propriedades na ausência de um estímulo que as gerou.

de *auto-organização* e se desenvolvem de maneira *irreversível* e seu futuro somente pode ser deduzido do presente como *probabilidade*.

As dimensões do sistema complexo

As definições mais recentes de sistema complexo cobrem um conjunto de características pouco comuns à lógica da mecânica clássica. Por exemplo, sistemas abertos e auto-organizados se sustentam longe do equilíbrio termodinâmico, o que significa que princípios de não-equilíbrio e de auto-organização são necessários para descrever os comportamentos de tais sistemas. Na realidade, equilíbrio significa a morte do sistema complexo.

Por outro lado, a definição relaciona o *espaço interno* e o *espaço externo* do sistema, através da inclusão de uma dimensão intermediária *mesoscópica* (do grego *meso* - entre). Assim, distinguimos três dimensões básicas de espaço-tempo em sistemas complexos que interagem em sinergia:

- Uma **dimensão microscópica** que descreve o espaço interno no nível das partes individuais (os *elementos* do sistema) que se relacionam de forma não linear;
- Uma **dimensão mesoscópica**, a *fronteira estrutural do sistema* que separa o espaço interno (o espaço das interações entre os elementos) e o espaço externo (o *ambiente relevante*) da estrutura do sistema;
- Uma **dimensão macroscópica**, constituída pelo espaço além da fronteira estrutural, também chamado de *ambiente relevante* ou *campo de interação*. Esta parte externa à fronteira estrutural é a fonte de energia e matéria necessária para a manutenção do seu metabolismo, da *coerência estrutural* e da *reprodução energético-material do sistema* como um todo. (Fig. 2).

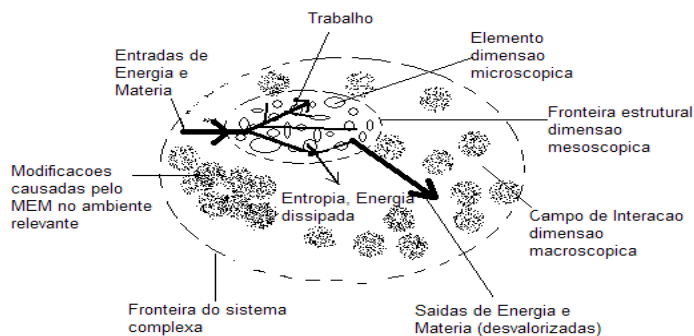


Fig.2 - O Sistema Complexo

As relações entre estas três dimensões são de natureza probabilística e consequentemente o futuro de tais sistemas não podem ser previstos com precisão. A característica mais importante da relação entre estas três dimensões é sua profunda interpenetração. As três dimensões do sistema são compostas em princípio **da mesma energia e matéria, entretanto em estados de organização e modos de relação diferentes** (Fig.3)

Interpenetração entre ambiente relevante, estrutura e elementos

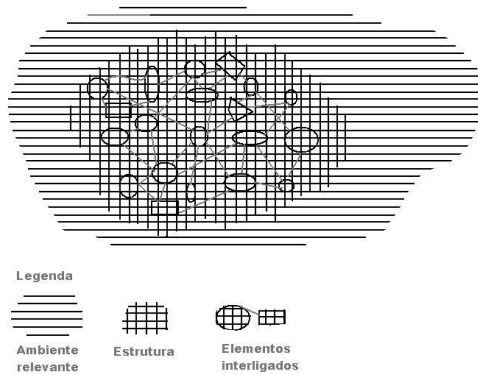


Fig. 3 Interpenetração das dimensões de um sistema complexo

Todo o espaço-tempo, além do campo de interação (portanto além das fronteiras do sistema) é chamado *ambiente externo do sistema*.

O campo de emergência

A evolução mostra que todos os sistemas complexos surgem (emergem), se desenvolvem e desaparecem.

O *campo de emergência* designa uma determinada região do universo que reúne um conjunto de condições necessárias para o surgimento de uma nova forma de interação entre diferentes partes presentes (sistemas, objetos, estruturas) que posteriormente constituem os elementos do sistema emergente.

Campos de emergência ocorrem no Universo em todas as escalas e níveis de evolução. Por exemplo, nosso sistema solar surgiu numa determinada região da galáxia devido a uma constelação material e energética adequada. Mas, campos de emergência se abrem também permanentemente na sociedade. Por exemplo, uma criança nasce dentro de um determinado contexto (campo de emergência) sócio-cultural e econômico. Um acidente de carro ocorre em via pública e uma multidão é atraída pelo evento. A área do acidente é um campo de emergência para a formação de uma multidão que constitui uma nova forma de coerência entre um número finito de pessoas (elementos). A multidão forma uma estrutura que possui certa extensão local e, conseqüentemente, uma fronteira estrutural definida.

Entretanto, o evento exerce também uma influência direta ou indireta num espaço muito maior que aquele ocupado pela multidão propriamente dita. A mídia divulga a notícia e pessoas se sentem direta - ou indiretamente afetadas pelo acidente sem estar presentes. Esta *área de influência* além da própria multidão no local do acidente define o *campo de interação* do sistema que surge através da ocorrência do acidente.

Assim devemos distinguir entre o campo de emergência que é preestabelecido, *determinado*, e o campo de interação que é um *produto* da interação entre a estrutura emergente e seu entorno relevante. Conceitos relacionados ao processo de emergência são:

Elemento, coerência, coesão e estado estacionário

A unidade básica de um sistema é o *elemento*. O elemento de um sistema complexo é a terminologia usada para designar a menor parte de um sistema que ainda faz sentido para a descrição do sistema como um todo. Trata-se, portanto, de um conceito que deve ser subjetivamente definido pelo observador, sendo que os elementos, individualmente, geralmente são sistemas complexos por sua parte.

Num sistema complexo um número finito de elementos interage através de forças e ligações diversas. Na medida em que os elementos começam a interagir eles criam uma coerência de comportamento entre si.

A *coerência* designa o *tipo* de interação entre os elementos, e corresponde a aquilo que todos os elementos, apesar de todas as diferenças, *possuem ou fazem em comum*. Coerência é, portanto comparável a um princípio de organização ou *padrão médio de comportamento* dos elementos de um sistema complexo.

A *coesão* por outro lado, é a expressão energética das *forças das ligações* estabelecidas entre as partes e é diretamente responsável pela *inércia estrutural*, uma importante propriedade do sistema, que será tratada mais adiante.

A coesão e a coerência entre os elementos podem ser mantidas durante um tempo definido ocupando certo espaço definido no Universo. Durante esse tempo o sistema encontra-se num *estado estacionário* (*steady state*) o que não designa um estado de imobilidade, pelo contrário, é um estado dinâmico de transformação permanente que ao mesmo tempo conserva a coerência estrutural do sistema.⁸

Como exemplo observamos um formigueiro. Os elementos deste sistema são as formigas e a *coerência* do comportamento e a *coesão* entre elas definem o grau de flexibilidade e consistência da organização estrutural deste sistema. A coerência é dinâmica, os elementos estão em movimento permanente e o sistema transforma-se continuamente em tamanho, densidade, e na sua distribuição espaço-temporal. Mesmo assim o formigueiro pode sustentar um estado estacionário durante muitos anos.

As formigas não vivem somente no formigueiro propriamente dito, senão elas ocupam também seu ambiente relevante, configurando o seu campo de interação, de onde retiram a energia e a matéria necessária para garantir a reprodução da sociedade como um todo. Este ambiente sofre a influência da atividade das formigas, mas ao mesmo tempo impõe ao sistema determinados limites e condições de sobrevivência.

É importante mencionar que todos os conceitos usados na TSC, tais como, elemento, estrutura, fronteira estrutural, etc., somente tem sentido se num primeiro passo a dimensão mesoscópica, a fronteira estrutural do sistema, for claramente definida. Assim, por exemplo, os olhos de uma formiga, não podem ser considerados como *elemento* do sistema formigueiro. Por outro lado, se quisermos investigar uma formiga individual como sistema, os conceitos de elemento, estrutura e campo de interação mudam de conteúdo e devem ser redefinidos. Neste caso os olhos da formiga poderão muito bem constituir um elemento do sistema considerado.

⁸ Não confundir com a *Teoria cosmológica do estado estacionário*, elaborada em 1948 por Hoyle, Gold e Boni, como alternativa ao modelo do Big Bang. [No contexto da TSC](#), o estado estacionário ~~neste contexto~~ é a *manutenção da coerência de uma relação dinâmica entre partes*.

Estrutura, inércia estrutural e substância

O conceito de *estrutura* (lat. *structura* e do verbo *struere*, construir, juntar, criar ordem) é utilizado na TSC no sentido de sua origem latina, ou seja, como plano arquitetônico, como ordenamento dos órgãos de um corpo, ou como relação coerente entre palavras e idéias de um discurso etc. No caso de um SC, estrutura descreve a maneira *como* os elementos se ligam e relacionam entre si para manter a coerência. Uma vez as relações entre as diferentes partes (elementos) de um sistema estabelecidas, surge a chamada *inércia estrutural* que representa o conjunto das forças de ligação entre as partes do sistema. A inércia estrutural assume um papel fundamental na entropia do sistema e pode ser considerada também como o potencial energético que é preciso para decompor a estrutura do sistema (ver capítulo sobre termodinâmica). Trata-se em outras palavras da energia conservadora do sistema.

Por outro lado, *substância* apresenta uma raiz história mais complexa e é entendido como *natureza de uma coisa*. A TSC utiliza estes conceitos no sentido de que a estrutura indica a *organização* e a substância o *caráter* do sistema considerado. Assim, a estrutura da água designa a forma de organização das moléculas e a substância descreve as características físico-químicas gerais deste líquido.

Fronteira estrutural

A estrutura do sistema ocupa um espaço-tempo definido que é limitado pela chamada *fronteira estrutural*, o principal *plano de referência* de um sistema complexo. É neste plano de referência que os sistemas complexos geralmente interagem⁹.

A fronteira estrutural possui características e funções específicas: Por um lado, trata-se de uma *interface* que processa a troca de energia entre as dimensões micro - e macroscópicas do sistema e, por outro lado ela assume em certos casos (sistemas biológicos) as funções de uma camada protetora ou de uma superfície sensorial para garantir a manutenção da coerência das partes. Um exemplo interessante é a pele do próprio corpo humano: a acupuntura demonstra que praticamente todos nossos órgãos estão representados por pontos específicos localizados na nossa pele.

A fronteira estrutural – a dimensão mesoscópica – joga também um papel importante na pesquisa empírica. Quando o pesquisador (observador) escolhe seu “objeto” de investigação, ele define na realidade a dimensão mesoscópica do sistema e é a partir desta que ele “constrói” o sistema completo com suas dimensões e relações entre as mesmas.

Os parâmetros usados na pesquisa empírica são assim relacionados á uma dimensão espaço-temporal definida pelo pesquisador, o que implica que as dimensões complementares se tornam difusas. Por exemplo, os parâmetros que definem grandezas mesoscópicas (como temperatura, volume, pressão, etc.) somente têm utilidade limitada quando penetramos em dimensões microscópicas ou quando queremos medir grandezas macroscópicas. O famoso princípio da incerteza de Heisenberg se baseia em parte neste fenômeno.¹⁰

⁹ É bom lembrar que isto ocorre também durante a pesquisa empírica: o “alvo” da pesquisa é sempre ligado á uma dimensão de referência, situada *no meio* – num plano mesoscópico - entre as dimensões macroscópicas e microscópicas do sistema investigado.

¹⁰ Werner Karl Heisenberg (1901-1976). Na física clássica, acreditava-se que se soubermos a posição inicial e o momento (massa e velocidade) de uma partícula de um sistema, seríamos capazes de calcular suas interações e prever como ele se comportará no futuro. O princípio de incerteza de Heisenberg postula que isso é impossível quando se trata de uma partícula

O Metabolismo Energético Material

Trata-se aqui de uma das características mais importantes da TSC com amplas conseqüências, sobretudo para a operacionalização das teorias do desenvolvimento sustentável. Cada estrutura possui a capacidade de transformar seu ambiente relevante de acordo com sua necessidade energético-material, e de acordo com sua própria organização estrutural. Na interação entre estrutura e ambiente, a estrutura tem tendência á *formatar* (configurar) seu ambiente de acordo com seu próprio padrão de organização estrutural e é ao mesmo tempo transformado pelas influências ambientais. Esta interação se baseia num permanente *fluxo de energia e matéria*, no qual a quantidade de energia e matéria de *entrada* de qualidade (Q_1) é internamente processada e aproveitada pela estrutura do sistema. Desta maneira, a energia de entrada é *consumida*, perdendo sua qualidade original e é eliminada na forma de energia (e matéria) desvalorizada e de qualidade inferior (Q_2).

O ciclo completo deste processo é chamado *Metabolismo Energético-Material (MEM)* do sistema (Fischer-Kowalski, M & Haberl, H., 1993).

Assim, sistemas complexos abertos *extraem* energia e matéria do seu ambiente relevante e devolvem energia e matéria desvalorizada ao mesmo. Este processo depende da forma específica do MEM de cada sistema e do seu modo específico de organização estrutural. Através da atividade metabólica o sistema *formata*, *configura*, ou *informa* constantemente seu ambiente, criando assim o seu próprio *campo de interação* de acordo com seu padrão específico de organização estrutural.

O campo de interação forma, junto com a estrutura do sistema, uma unidade dialética em permanente interação e transformação. As dimensões macroscópicas e microscópicas interagem desta maneira através das fronteiras estruturais (a dimensão mesoscópica) e possibilitam ao sistema de reagir internamente a mudanças que ocorrem ao exterior de sua fronteira estrutural.

Um excelente exemplo da eminente importância do MEM é nosso *modo de produção*, que é o padrão de organização da economia capitalista. A forma de apropriação dos recursos naturais, a maneira como esses recursos são transformados em produto, distribuídos e transformados em rejeitos e finalmente depositados, são conseqüência direta do modo de produção. Todas estas atividades econômicas são uma tentativa permanente de configurar o ambiente natural de acordo com esse tipo de modo de produção. Por isso todos os grandes problemas que enfrentamos hoje em relação às mudanças climáticas, poluição, destruição dos ecossistemas, miséria e fome etc., são conseqüência direta do nosso padrão de organização econômica. Por conseqüência, a problemática do desenvolvimento econômico sustentável não poderá ser resolvida satisfatoriamente sem necessariamente uma reforma profunda do nosso modo de produção. O estudo do MEM de uma economia nos conduz a pistas novas e permite a construção de indicadores de sustentabilidade econômica consistentes, porque é capaz de dimensionar corretamente a voracidade de uma economia em relação á apropriação e uso dos recursos naturais renováveis e não renováveis.

O Campo de interação e fronteira do sistema

O Campo de interação é parte integral de todos os sistemas abertos e fechados e é a fonte dos recursos materiais e energéticos primários necessários para a manutenção do seu Metabolismo Energético-Material, sendo que a estrutura do sistema e o campo de interação se modificam mutuamente durante a manutenção do MEM.

quântica, porque nossa observação interfere no seu movimento de tal maneira que se torna impossível determinar o comportamento de um elétron como se fosse um objeto da mecânica clássica.

Formatado: Fonte: 10 pt

Em sistemas abertos devemos diferenciar entre fronteira estrutural e fronteira de sistema. Esta distinção é fundamental para dar ênfase ao fato que um sistema complexo tem, semelhante às partículas da física, um duplo caráter de *corpo* e de *campo*.

Por exemplo, a membrana de uma célula (a fronteira estrutural) pode ser definida com precisão do ponto de vista espacial. Ao contrário, o campo de interação desta célula encerra todo o espaço externo que de alguma maneira é influenciado, utilizado e transformado pela célula durante sua vida. Assim, os limites do campo de interação não representam um espaço geométrico preciso, apesar de seu caráter espacial. Da mesma forma, o corpo de uma pessoa física pode ser facilmente delimitado pela forma do seu corpo. Entretanto, o conjunto das relações que esta pessoa estabelece com seu ambiente, e todas as influências que ele exerce sobre as pessoas do seu mundo durante sua vida, é um campo de interação difícil de definir do ponto de vista de sua extensão espacial.

Resumindo: Sistemas isolados não possuem campos de interação.

Sistemas fechados que somente trocam energia com seu ambiente possuem um campo de interação de *Primeira Ordem*.

Sistemas abertos que trocam energia e matéria com seu ambiente possuem campos de interação de *Segunda Ordem*.

Os campos de interação de Primeira Ordem são constituídos pelas 4 forças básicas que conhecemos no universo: gravitação, forças nucleares fortes e fracas, e forças eletromagnéticas. No caso de sistemas fechados não há *feedback* direto entre estrutura e campo de interação, a relação entre ambos é passiva.

Os campos de interação de Segunda Ordem são caracterizados tanto pela ação da radiação e dos campos de forças básicas, como pela troca de material com a estrutura do sistema. Desta maneira estabelecem-se interações diretas entre o campo de interação e a estrutura gerada pela troca de matéria, que implica numa transformação mútua e permanente de ambos.

Exemplo: Nosso planeta Terra pode ser considerado um sistema fechado (desconsiderando as entradas materiais devido à queda de meteoritos), composto por um grande número de sistemas abertos, que trocam entre si uma quantidade praticamente constante de energia e matéria, modificando desta maneira continuamente sua qualidade. Seu campo de interação de 1ª Ordem, o sistema solar, é caracterizado pela entrada da radiação solar (fótons), por uma radiação térmica de saída e pelo campo de gravitação terrestre.

A relação entre ambiente externo e campo de interação pode ser exemplificada no caso das ligações químicas. Cada núcleo atômico é ligado aos parceiros, através da superposição dos campos de elétrons (os campos de interação dos átomos) na medida em que os átomos dividem entre eles certo número de elétrons. Este *espaço em comum* cumpre o papel de um *canal* através do qual os núcleos dos átomos sustentam sua interação.

Quando há redes de grandes números de grupos de átomos, os sistemas de superposição de campos se tornam muito complexas. Desta maneira se configuram sistemas de diferentes canais que caracterizam uma associação de átomos. Todos os átomos ligados a este sistema perdem por um lado partes de sua liberdade individual, ao mesmo tempo ganham acesso a um campo energético muito mais amplo.

A auto-organização

Chamamos *auto-organização*, todas as modificações do estado microscópico de um sistema que não podem ser deduzidas ou medidas a partir de parâmetros ou estímulos externos

macroscópicos.¹¹ A força motriz dos fenômenos de auto-organização decorrem do metabolismo energético material. Desta maneira as estruturas “importam” perturbações, modificações e impactos que não podem ser medidos por parâmetros macroscópicos e num processo acumulativo produzem mudanças internas do sistema que acabam refletindo-se no nível do sistema como um todo. Assim, assistimos á emergência de novos comportamentos chamados auto-organizados. Trabalhos relacionados a este tema são EBELING (1989), HAKEN (1992), BECKENBACH & DIEFENBACHER (1994).

A Emergência de sistemas complexos

O papel da Termodinâmica

A termodinâmica de não-equilíbrio é um instrumento de análise fundamentada nas ciências exatas e possui por esta razão um importante poder de persuasão. Por outro lado, para resolver problemas de desenvolvimento dos sistemas dinâmicos e complexos é necessário entender a *dimensão e as causas* da entropia em cada sistema, o que nos leva á analisar mais detalhadamente os conceitos básicos de entropia, energia, trabalho e calor.

Breve história da Termodinâmica

A máquina á vapor foi uma das mais importantes inovações tecnológicas do início da revolução industrial. A invenção de uma máquina capaz de transformar calor em trabalho físico, ampliando assim exponencialmente a potencialidade do trabalho físico humano, foi o estopim de uma nova era histórica para a humanidade, equivalente á invenção do computador. O que a máquina a vapor foi para o trabalho físico, o computador é para o trabalho mental.

O grande problema que as ciências enfrentaram com esta máquina a vapor era o curioso fenômeno da transformação do calor em trabalho. Desde Galileu já se tinha uma idéia relativamente clara sobre o significativo de uma *força mecânica* e conseqüentemente sobre o *trabalho mecânico*, mas o fenômeno do calor tem sido um mistério por muito tempo. Assim, a descoberta da lei de entropia, como conseqüência de uma experiência empírica, sempre teve certo aspecto metafísico para as ciências da época. A razão é simples: A transformação de calor para trabalho implica numa perda irreversível de energia e, portanto um processo de transformação irreversível, o que na visão da mecânica clássica era absolutamente inconcebível.

A primeira publicação que efetivamente aborda a termodinâmica foi escrita por *Sadi Carnot* (1796-1832), um jovem engenheiro militar francês. Durante a guerra entre a França e a Inglaterra, ele percebeu a supremacia da Inglaterra devido ao domínio da máquina a vapor e da importância do que ele chamou a *força do fogo* para a industrialização da França. Em 1824 ele publicou a obra *réflexions sur la puissance du feu* onde ele acredita que o calor seja uma substância, semelhante a água.

Mais tarde na Inglaterra, *James Prescott Joule* (1818-1889) descobre que o calor se dissipa e que há uma relação quantitativa entre calor e trabalho. Joule criou a concepção da *equivalência mecânica do calor*. A vida científica de Joule foi profundamente marcada pela discussão se o calor é ou não uma substância, uma dúvida que ele não conseguiu resolver até sua morte.

¹¹ O termo auto-organização: “foi cunhado na década de 1940, para rotular os processos pelos quais os sistemas se tornam mais altamente organizados no tempo, sem serem ordenados por agentes ou programas externos. Ele se tornou um dos conceitos dominante das ciências não-lineares, sem mesmo ter sido propriamente definido.” (SHALIZI; SHALIZI; HASLINGER, *et al.*, 2004).

Formatado: Fonte: 10 pt

Formatado: Fonte: 10 pt

Formatado: Fonte: 10 pt

Formatado: Fonte: 10 pt

Formatado: Português (Brasil)

Aproximadamente na mesma época *William Thompson* (1824-1907), conhecido como **Lord Kelvin**, publicou em 1851 a obra "*On the dynamical theory of heat*". Ele percebeu que todos os processos naturais ocorrem num campo térmico estabelecido entre o calor e o frio. William Thompson, foi uma das personalidades mais ilustres da história das ciências da Inglaterra: considerado um gênio, entrou na Universidade de Cambridge com 10 anos de idade e tornou-se Professor titular de filosofia da natureza, aos 22 anos.

Enquanto isto, na Alemanha, *Rudolf Gottlieb*, alias **Clausius** (1822-1888), demonstra pela primeira vez que o calor é ligado ao movimento das partículas que constituem os corpos, abrindo assim espaço para a compreensão do verdadeiro caráter do calor.

Poucos anos mais tarde, o matemático e físico *Ludwig Boltzmann* (1844-1906) relaciona matematicamente as características macroscópicas das estruturas materiais com o comportamento microscópico dos átomos. Ele se tornou o pai da chamada Termodinâmica estatística.

Atualmente há quatro leis da termodinâmica, que curiosamente começa com a "Lei zero", que foi a última a ser definida:

- A *lei zero da termodinâmica* parte do princípio que a observação de uma diferença térmica entre dois corpos não é possível pelo contacto direto. Por esta razão a lei zero define um *corpo de referência* e foi postulada da seguinte forma: *se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B tem a mesma temperatura.*

- A *primeira lei da termodinâmica* é a lei de conservação de energia aplicada aos processos térmicos. Ela define a *equivalência entre trabalho e calor* e o conceito de *energia interna*, ou seja, a energia associada aos átomos e moléculas em seus movimentos e interações internas ao sistema;

- A *segunda lei da termodinâmica* afirma que a quantidade de trabalho útil que podemos obter a partir da energia total recebida por um sistema é sempre inferior á quantidade total desta energia recebida. É, portanto impossível transformar toda a energia de entrada de um sistema em trabalho mecânico e a energia irreversivelmente dissipada (perdida) é chamada *entropia*;

- A *terceira lei da termodinâmica* estabelece que é impossível, por meio de um número finito de etapas (ou estados) atingir a temperatura do zero absoluto (zero Kelvin).

Destas quatro (4) leis da termodinâmica, a segunda, a *lei da entropia*, é a mais importante e ela assume um papel destacado na transformação e evolução dos sistemas complexos. Curiosamente, a segunda lei foi a primeira e mais importante a ser descoberta e ela demonstra que a distribuição de energia se modifica de forma irreversível no universo, criando uma assimetria fundamental no processo de evolução e trata, portanto, da *direção* das transformações do universo e conseqüentemente da *direção do tempo*.

A importância da termodinâmica para os processos de transformação e evolução dos sistemas complexos decorre do fato que estes sustentam sua coerência estrutural através do metabolismo energético e são obrigados a reagir constantemente a mudanças externas. Disso decorrem duas características importantes: o sistema se encontra num *estado estacionário afastado do equilíbrio* e seu *desenvolvimento não-linear* somente pode ser descrito pela termodinâmica de não-equilíbrio.

Uma das conseqüências da *termodinâmica de não - equilíbrio* é o fato que mesmo conhecendo exatamente e mantendo constantes as condições iniciais de um processo de desenvolvimento de um sistema complexo, o futuro deste é aberto e não pode ser previsto de maneira determinante. É esta faixa de incerteza que determina o *grau de liberdade de um sistema* e abre as possibilidades de um universo em evolução.

Isto explica a razão da falência dos grandes projetos implantados na Amazônia. Por mais que se planejam de maneira mecânica as condições iniciais do projeto, ele nunca poderá dar o resultado desejado. Um projeto conduz a uma intervenção em sistemas dinâmicos em permanente transformação. Portanto precisamos de métodos de planejamento flexíveis que deixam abertas possibilidades para as inevitáveis modificações de rumo que surgem durante a execução do projeto.

Calor e Temperatura

O problema do calor preocupou tanto filósofos como cientistas naturais por muitos séculos e foi historicamente abordado de três maneiras diferentes:

a) A abordagem *fenomenológica*, não pretendia responder à pergunta *o que é o calor*, senão se preocupava fundamentalmente com as mudanças que o calor causa em sistemas materiais de um ponto de vista *quantitativo*;

b) A abordagem *energética* relaciona as mudanças de temperatura com os processos de entradas e saídas de energia ao sistema. Assim, foi introduzido o conceito de *energia do calor* por J. Black em 1760. Sem conhecer ainda o verdadeiro caráter do calor, ele já considerava o calor como uma forma de energia e desta maneira contribuiu para a criação das bases da termodinâmica clássica e da máquina a vapor;

c) Do ponto de vista *estatístico* as manifestações de calor são relacionadas ao movimento mecânico dos elementos do sistema e o calor é considerado resultado do valor médio da energia cinética dos elementos. Este ponto de vista, apesar de ser também basicamente energético, já se baseia numa visão moderna da estrutura atômica da matéria. Contribuições importantes neste campo foram dadas por Clausius meados do século 19 e, sobretudo por Boltzmann entre 1900 e 1906, BLACKMORE, J.T (1995).

De um modo geral, a temperatura de um corpo (ou sistema) mede o *grau de agitação* do seu micro-estado (dos átomos ou moléculas) em relação ao padrão do mercúrio. Portanto, a temperatura é uma medida relacionada à estrutura material (massa específica) de um corpo. Enquanto calor é um conceito que descreve o movimento caótico e incoerente de um modo geral, a temperatura mede este *grau de agitação incoerente* usando como padrão uma estrutura concreta (o Hg) com uma inércia estrutural específica. Na prática isto é muito fácil de verificar: todas as estruturas materiais apresentam uma condutividade térmica específica. A mesma quantidade de calor não causa o mesmo aumento de temperatura em todos os corpos.

Há dois limites para as temperaturas do Universo. A temperatura mais elevada é aquela do *Big Bang*, estimada em $3.10^{12}^{\circ}\text{K}$ e a temperatura mais baixa é 0°K que corresponde a -273°C . Além desses dois limites térmicos nossas leis da física e química perdem sua aplicabilidade.

Temperaturas baixas

Descendo-se a escala térmica, encontramos algumas fases importantes, com diferenças qualitativas importantes:

- A 20°K o Hidrogênio torna-se fluido. Todas as reações químicas e biológicas são paralisadas. Os átomos ainda se movimentam ligeiramente através do chamado movimento residual que enche os sistemas com o ruído de fundo térmico;

- Em torno dos 3°K (o ponto de ebulição do He está em torno de 4,2°K), chega-se ao estado do silêncio térmico. Cessa o movimento residual dos átomos e o He líquido começa a assumir qualidades supercondutoras;

- Em torno de 2,2°K, abaixo do nível da super-condução aparece, no caso do He, a qualidade da superfluidez, causada pelo surgimento de um fluxo estável de elétrons. Neste ponto desaparece todo tipo de viscosidade.

Nesta faixa de temperatura encontramos um fenômeno de maior importância para a astrofísica: a chamada *radiação fria de fundo* do cosmos que apresenta uma temperatura estável de 2,7°K. Este fenômeno foi descoberto por A. Penzias e R. Wilson em 1965, (TREFIL, J.S, 1983). Trata-se de uma radiação de micro-ondas na faixa dos centímetros e com uma energia de 4,08 Ghz que corresponde, ao mesmo tempo, à chamada *radiação térmica de um corpo negro*. Supõe-se que esta radiação seja um resíduo do *Big-Bang*. Entretanto, a constância desta radiação em todas as direções do universo parece contradizer esta teoria, visto a completa falta de homogeneidade na distribuição da massa do universo.

Ultimamente, novos métodos de congelamento magnético conseguiram baixar a temperatura até valores em torno de 0,3°K. O recorde das temperaturas mais baixas foi realizado em 1984 com 2.10^{-8} °K e finalmente, na faixa de 0°K, as leis da física e química perdem seu potencial explicativo e, portanto tornam-se sem sentido (ATKINS, 1984)

Temperaturas elevadas

Percorremos agora o caminho inverso e observamos o que acontece em dimensões térmicas cada vez mais elevadas até chegarmos a temperatura do *Big-Bang*. A primeira etapa de relevância universal para as estruturas materiais encontra-se na faixa dos 3000°K.

- Em torno de 3000°K nós deixamos a dimensão da química. Os elétrons se separam dos núcleos e surge um gás formado por elétrons e núcleos, o *plasma*. Nesta dimensão térmica as partículas carregadas e a radiação eletromagnética interagem e emitem ou absorvem luz e o universo entra em *equilíbrio térmico*;

- Em torno de 3.10^{11} °K (2000 vezes a temperatura do sol) os núcleos rompem;

- Com um aumento de temperatura de mais uma potência de dez (3.10^{12} °K), os prótons são destruídos e nós encontramos aproximadamente as condições térmicas do início do universo.

Analisando estas duas faixas limites de temperatura, podemos afirmar que a evolução do Universo ocorre num campo térmico entre 0°K e 3.10^{12} °K.

Tanto abaixo como acima destas fronteiras térmicas todas as formas de atividades físicas e químicas que conhecemos desaparecem e abre-se uma dimensão completamente diferente onde todas as leis que descrevem o nosso Universo perdem seu sentido.

De acordo com os conhecimentos atuais, toda evolução que somos capazes de observar e interpretar desenvolve-se dentro desta faixa térmica universal entre o zero absoluto de Kelvin e a temperatura inicial do Universo. Além destas fronteiras térmicas todo tipo de formas de Universo foge da nossa capacidade de imaginação.

As Leis da Termodinâmica e suas implicações

Originalmente a termodinâmica era considerada uma disciplina da física e química, que trata exclusivamente da transformação do calor em trabalho mecânico em sistemas fechados. Com as obras de Georgescu-Roegen e sobretudo com Ilya Prigogine, as implicações científicas e filosóficas

Formatado: Fonte: Tahoma, 10 pt, Cor da fonte: Automática

da termodinâmica foram estendidas para todos os sistemas complexos, não lineares e longes do equilíbrio. A obra *A nova aliança, as metamorfoses da ciência*, de Prigogine, publicado em 1979, tornou-se um *best seller* que reflete a mudança de paradigmas no pensamento científico mundial. Tornou-se evidente que a termodinâmica tem implicações que vão muito além de um simples problema da física. A extração de energia e matéria da natureza para realizar trabalho e para garantir a sobrevivência ou a manutenção do sistema econômico é baseada num determinado modo de produção. De acordo com a 2ª Lei da termodinâmica, toda esta energia e matéria extraída da natureza, somente uma parte pode ser transformada em trabalho, utilizada em atividades reprodutivas (tais como manutenção da coerência estrutural do sistema) que podem ser tanto materiais, como virtuais, enquanto contribuem para a consolidação do sistema. A outra parte desta energia, empregada em atividades não produtivas no sentido do desenvolvimento econômico, é irrecuperavelmente dissipada na forma de entropia. Esta energia é perdida, geralmente na forma de calor, conflitos, atividades inúteis ou prejudiciais para a reprodução, ou na forma de dejetos para o ambiente. Em sistemas sociais a exacerbada burocracia é um exemplo típico de atividade entrópica, ou guerras como forma de *exportar* entropia social ou econômica para outros países. Pode parecer então que a entropia precisa ser eliminada e que prejudica o desenvolvimento, mas na realidade, por mais que isso possa parecer contraditório, a entropia é absolutamente necessária para compensar a *inércia estrutural da organização interna* do sistema. Somente assim, o sistema é capaz de utilizar o restante para o trabalho. Assim, por mais que a entropia seja inevitável e necessária, ela deve ser *mantida no menor nível possível em relação à quantidade de energia aproveitada para a atividade reprodutiva* do sistema. Percebe-se que tudo aquilo que tiramos da natureza para garantir nossa sobrevivência não é grátis, uma parte dos recursos energéticos e/ou materiais precisam ser usadas para a superação de resistências estruturais, que podem ser materiais, econômicas, políticas, culturais etc. O que importa é a *relação* entre a quantidade do trabalho realizado para a reprodução e a energia dissipada. Sistemas inflexíveis requerem mais energia para vencer sua inércia estrutural e tem dificuldades de adaptar-se à mudanças do ambiente, e geralmente são condenadas ao desaparecimento no decorrer da evolução.

Emergência e Entropia

Um problema preocupava os cientistas por muito tempo: se a lei da entropia prevê que o Universo tende para a morte termodinâmica, como é possível que a evolução do Universo produz estruturas cada vez mais complexas? Será que a lei da Entropia estaria em contradição com a evolução? A termodinâmica clássica do século XIX já descreve a irreversibilidade como condição necessária, mas não suficiente, para que haja evolução, mas ela somente concebe uma evolução linear em direção a um ponto de equilíbrio. A termodinâmica de não equilíbrio, baseado principalmente nos trabalhos de I. Prigogine solucionou este problema fazendo distinção entre a produção interna de entropia de um sistema e o fluxo externo de entropia trocado entre sistemas abertos (FENZL, N. 1987)

A termodinâmica clássica ensina que a temperatura do Universo tende a um equilíbrio térmico. Uma experiência simples demonstra este processo: Um sistema de dois balões comunicantes (A-B), contendo gases de temperaturas diferentes $A(T_a) \neq B(T_b)$ é isolado termicamente. Após um determinado tempo (t) instala-se um equilíbrio térmico entre os dois balões ($T_a = T_b$) e o sistema (A-B) estará num estado de *entropia máxima* que corresponde a um estado de desordem máximo.

Formatado: Fonte: 10 pt

Isto significa que se o Universo for considerado um único e simples sistema isolado, será, portanto incapaz de produzir ordem e, portanto de evoluir.

No entanto, se este sistema (A-B) for aberto e desprovido do seu isolamento térmico, a instalação do equilíbrio térmico interno se torna improvável, já que as variações de temperatura externas tiram o sistema constantemente do seu caminho para um estado de equilíbrio.

Prigogine explica este fenômeno da seguinte maneira. O Universo, mesmo se for considerado um sistema isolado, os seus subsistemas são abertos e em comunicação universal.

Em sistemas isolados a entropia somente descreve um fenômeno *interno* do sistema e não diz nada sobre os fluxos de entropia que perpassam os sistemas abertos como resultado de suas relações com seu ambiente. Enquanto a entropia de um sistema isolado é sempre positiva com tendência a zero, os fluxos de entropia entre sistemas abertos podem assumir tanto valores positivos como negativos (PRIGOGINE, I., STENGERS, I., 1984).

Ebert (1974) diz em relação a este fenômeno: "o surgimento de novas formas e estruturas no universo acontece não *apesar*, mas sim, *em consequência* da segunda lei da termodinâmica".

Dos trabalhos de Prigogine (1984) podemos concluir que enquanto houver intercâmbio energético entre os sistemas abertos, a 2ª Lei da termodinâmica não está em contradição com a permanente criação de ordem (emergência de novas estruturas) no Universo. Ordem e desordem são partes indivisíveis do mesmo processo do desenvolvimento de sistemas que só excepcionalmente podem assumir condições de equilíbrio.

Energia e Trabalho

Para entender o papel da termodinâmica nos processos de emergência e evolução de sistemas complexos é importante definir os conceitos de energia, calor e trabalho diretamente ligados ao problema da entropia.

Vejamos algumas definições de energia e trabalho usadas na física clássica, (KUCHLING, 1981):

- *Trabalho* é definido como força aplicada a um corpo numa determinada distância (em $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$, Joule);

- *Energia* é definida como *capacidade de um corpo de produzir trabalho* ou às vezes como *trabalho armazenado*.

Trabalho e energia são considerados equivalentes e expressos nas mesmas unidades.

Resumindo podemos dizer que a Energia é definida tanto (i) como uma *propriedade inerente* aos corpos físicos, tanto (ii) como *fenômeno que incide* (atua) sobre os mesmos. Esta aparente contradição torna-se evidente quando analisamos as definições das principais formas de energia da mecânica clássica:

- A *Energia potencial*, ou *energia de repouso* de um corpo: $W_p = mg\cdot h$

Sendo:

m=massa do corpo,

h=distância entre o corpo e a superfície terrestre, e

$g=9,81 \text{ m/s}^2$.

Aqui a contradição reside no fato de que W_p é definida como *qualidade* característica do corpo específico, mesmo sabendo que W_p é o resultado da atração (a força de gravitação) entre o corpo considerado e a Terra, ou seja, resultado de uma *força externa* aplicada ao corpo considerado.

- A *Energia cinética* (W_c), a *energia de movimento* de um corpo: $W_c = mv^2/2$

Sendo:

Formatado: Fonte: 10 pt, Cor da fonte: Automática

m =massa do corpo e

v =a velocidade.

Tradicionalmente a física nos ensina que para movimentar um corpo com uma determinada energia potencial (W_p), deve-se aplicar um trabalho mecânico nele que é *armazenado* no corpo sob forma de energia cinética (W_c). Portanto, (W_c) também pode ser visto como uma energia que *vem de fora* do corpo considerado, que é armazenado nele durante o movimento (um certo tempo) e é liberado na hora em que cessa o movimento do corpo.

As noções de energia e trabalho manifestam, portanto um caráter nitidamente ambíguo:

a) Energia e Trabalho definem-se de um lado como *características inerentes* aos corpos, objetos e sistemas;

b) Por outro lado, Energia e Trabalho são sempre *assimilados, recebidos, armazenados ou liberados* etc.

Em outras palavras, os dois conceitos descrevem um fenômeno que não pode ser deduzido exclusivamente (e de maneira direta) da estrutura material dos objetos (ou corpos) considerados.

Movimento, Caos e Ordem

Esta contradição nas definições de energia e trabalho se resolve na medida em que se analisam estes conceitos na luz da termodinâmica moderna.

Os trabalhos do físico inglês Atkins (1986) oferecem as seguintes definições: tanto o Trabalho, como o Calor são formas (ou métodos) de *transporte de energia* de um sistema para outro. Em outras palavras:

- *Calor* é considerado uma *forma não-organizada de transporte de energia* na qual um movimento incoerente (caótico) é transmitido para um sistema e se propaga dentro dele;

- *Trabalho* é considerado como uma *forma organizada de transporte de energia* na qual um movimento coerente é transferido de um ambiente para um sistema, ou de um sistema para outro. Os elementos do sistema receptor assumem este movimento, podendo, entretanto transformá-lo novamente em movimento térmico (incoerente).

Assim, podemos resumir:

Trabalho = Coerência = Ordem.

Calor = Incoerência = Caos.

Visto por este ângulo, o fluxo do calor de um ponto mais quente para o ponto mais frio do Universo se torna uma condição básica para a realização de trabalho.

Da discussão precedente concluímos que energia é de certa maneira um "meta-conceito" que abrange dois aspectos assimétricos entre si, o calor que corresponde a um movimento caótico e o trabalho que produz coerência, ordem, estrutura [etc.

Stonier (1990), por exemplo, enfatiza o antagonismo entre calor e trabalho da seguinte maneira: "... contrariamente ao calor, o trabalho é caracterizado pela organização e estrutura no espaço-tempo." Atkins (1986) afirma que "[...] na natureza, trabalho e calor são equivalentes enquanto formas de energia [...]".

Assim, chegamos a seguinte definição: Energia é todo e qualquer tipo de movimento que modifica a relação entre os elementos de um sistema. Ou, em outras palavras: Energia é massa em movimento.

Energia é o fenômeno que modifica o movimento dos elementos de um sistema (microestado), independentemente se este movimento se manifesta de forma coerente ou incoerente em relação à estrutura (dimensão mesoscópica) do mesmo.

Vejamos as implicações de esta definição através de um exemplo:

Seja um sistema aberto (S_0) no momento (t_0). Sua inércia estrutural se opõe em princípio a todo tipo de transformação imposta por um ambiente em movimento permanente. Como a inércia estrutural é uma característica intrínseca de todo sistema, a estrutura é, portanto, o fator que conserva a identidade do sistema.

Por outro lado, para manter sua identidade o sistema é obrigado a reorganizar e adaptar permanentemente seu espaço microscópico interno a todas as modificações externas.

Isto parece contraditório, porque em última instância significa que a estabilidade de um sistema somente pode ser garantida através de sua capacidade de desestabilização de sua organização estrutural. Mas é justamente o antagonismo entre conservação e mudança que é a base da capacidade evolutiva dos sistemas complexos.

Aborda-se aqui um aspecto fundamental para a evolução de sistemas abertos que podemos resumir da seguinte maneira:

O ambiente de um sistema (dimensão macroscópica) em permanente transformação exige da estrutura (dimensão mesoscópica) do sistema uma resposta que dependerá do modo de organização e da inércia estrutural do mesmo. Esta resposta somente pode ser dada na medida em que o sistema for capaz de reorganizar seus elementos (dimensão microscópica) sem perder a coerência que garante o estado estacionário de sua estrutura. Como o micro-espaço do sistema reage as modificações externas não pode ser previsto com precisão porque o número de fatores que definem a reação é praticamente infinita, a relação entre os elementos e a estrutura geral do sistema é de natureza estatística. Isto significa que mesmo se as mudanças dos parâmetros macroscópicos no entorno do sistema sejam conhecidas, as reações microscópicas a estas mudanças não podem ser previstas com determinação. Esta incerteza define em última instância o grau de liberdade e a capacidade de auto-organização de um sistema complexo.

A Evolução de sistemas complexos

Um novo sistema pode surgir sem que isto necessariamente garanta a *evolução* do mesmo. Para que haja evolução de um sistema emergente pelo menos três condições básicas precisam ser cumpridas: *irreversibilidade*, *probabilidade* e surgimento de uma *nova qualidade*.¹²

A irreversibilidade

O surgimento de novas estruturas com inércia estrutural pode ser entendido como uma *quebra da simetria* entre passado e futuro. Por exemplo, uma reação química, embora que seja irreversível termina num estado de equilíbrio, o que não representa uma evolução. Assim, em princípio, podemos afirmar que a evolução é em primeiro lugar o desenvolvimento de uma assimetria (WEHRT, 1974).

De fato, todas as experiências humanas são marcadas por processos irreversíveis. É notável que o formalismo cartesiano que descreve o universo como um imenso relógio, composto de peças e movimentos mecânicos reversíveis, consegue manter-se durante quatro séculos apesar deste fato. O motivo reside no poder da lógica formal da matemática. Embora Clausius já tenha introduzido a irreversibilidade nas ciências naturais através da entropia, as conseqüências teóricas do reconhecimento da segunda lei da termodinâmica foram deixadas de lado por muito tempo. EBELING (1994) dá um exemplo para uma definição matemática da irreversibilidade: imaginamos

¹² Trata-se aqui das condições básicas válidas para que um sistema complexo possa evoluir. Entretanto, em sistemas biológicos ou sociais outras características adicionais podem ser importantes.

um processo que é filmado, registrando uma série temporal de eventos. Em seguida o filme é projetado ao inverso, do fim ao início, fazendo a mesma seqüência de medidas. Caso os resultados das duas seqüências de medidas são iguais, o processo filmado é reversível. Caso as medições são diferentes, o processo é irreversível.

A probabilidade

A probabilidade é uma primeira consequência da irreversibilidade. Quando o futuro de um processo não pode ser deduzido diretamente a partir das condições iniciais definidas, então o resultado esperado não é *determinado*, senão é *provável*. Isto significa que, ao longo de um processo de evolução, sempre só aparecem condições *estatisticamente possíveis*. Em contraposição a isto, por exemplo, o lançamento mecânico de uma pedra pode ser calculado precisamente e o ponto e o momento da queda podem ser determinados com precisão. A probabilidade é o resultado da relação estatística entre as três dimensões (micro, meso e macro) que compõem um sistema complexo.

A probabilidade é uma outra condição para que uma transformação possa de fato vir a ser um processo evolutivo, visto que se o futuro pudesse ser deduzido inteiramente a partir dos parâmetros do presente, a existência da sociedade humana poderia ser deduzida logicamente a partir das primeiras moléculas orgânicas.

Assim, processos evolutivos nunca são *ou* necessários *ou* casuais. A evolução percorre o caminho do meio estatístico, onde a *realidade imposta* e a *atualidade auto-determinada* se *complementam* de tal maneira, que em última instância tanto o sistema como seu ambiente acabam transformando-se mutuamente e permanentemente.

No **presente**, o **passado** é superado como *necessidade* e forma os parâmetros para o **futuro**, que é contido no **presente** como *probabilidade*.

Para evitar a confusão entre probabilidade e acaso, uma citação de Rosenfeld (1953): "Probabilidade não é o acaso sem regras, senão exatamente o contrário: que há regras no acaso. Uma lei estatística é uma *lei*, uma expressão de uma regulamentação, ou seja, um instrumento de prognóstico; a diferença é que não é uma lei mecânica".

A Nova Qualidade

O surgimento de uma nova qualidade é a condição mais importante para que haja um processo de evolução. Desde os trabalhos de Darwin, considera-se que a evolução somente ocorre, quando um evento torna-se *ponto de partida de uma nova qualidade*, ou como diz Prigogine, quando surge uma nova *coerência global*... (I.PRIGOGINE & I.STENGERS, 1993)

Portanto, não basta que um processo ocorra de maneira irreversível e que o seu futuro não seja pré-determinado. O *novo* emergente deve constituir uma *nova qualidade* de desenvolvimento.

Por exemplo, si o sistema considerado for uma nação, o nascimento de uma criança não constitui por si só uma nova qualidade. Entretanto, si o sistema em questão for a família, o recém-nascido pode ser considerado ponto de partida de uma nova qualidade para esta família.

Da mesma maneira, o surgimento de uma organização política, econômica ou religiosa pode configurar uma nova qualidade de organização na medida em que for capaz de impor novos rumos á evolução da sociedade em questão.

Outro exemplo bastante ilustrativo da biologia é do surgimento de um fungo, chamado *Dictyostelium discoideum*. Em certas condições (p.ex. stress nutritivo, etc.) seres unicelulares, sem ligação e conexão aparente, se juntam em grande número para formar um *único indivíduo*, o *Dictyostelium*, constituindo uma nova qualidade de organização. Desta maneira, os seres

individuais acabam de garantir a sobrevivência de sua espécie através de um processo de cooperação.

Finalmente um exemplo da física é o surgimento do núcleo do Hidrogênio, porque ele deu início à evolução de todos os outros elementos químicos que conhecemos.

Este exemplo demonstra que a coerência emergente de células individuais se traduz em *nova qualidade* no momento em que ela engendra um *acontecimento coletivo*.

Laboratório e Natureza

Os critérios que definem um processo evolutivo nos levam a fazer as seguintes perguntas:

Há processos realmente reversíveis na natureza?

Em caso positivo, quais são as relações entre reversibilidade, irreversibilidade e o surgimento de novas qualidades nos processos que regem o nosso ambiente natural, social e econômico?

Observando os processos de transformação da natureza que nos rodeiam, poderíamos até concluir que a reversibilidade é simplesmente um produto da abstração dos nossos métodos empíricos. Entretanto, parece que a resposta não é tão simples.

Observamos um ecossistema aquático, por exemplo, um pequeno lago e estudamos as mudanças físico-químicas e bioquímicas que ocorrem quando a água congela durante o inverno e descongela durante a primavera.

Na primeira experiência, tomamos uma amostra do lago e congelamos a água no laboratório. Sabemos que teoricamente a transformação de água para gelo e do gelo para água, é um processo reversível. Entretanto, para garantir que o gelo volta a ser realmente a *mesma* água em *quantidade e qualidade*, é preciso *isolar a amostra* de tal maneira que não haja nenhum tipo de interferência externa que possa modificar a composição química da água e perturbar a reversibilidade do processo. Em outras palavras, o processo somente será reversível se sistema (a amostra de água) for fechado.

Observamos o mesmo processo em condições naturais.

Medimos os parâmetros iniciais da água do lago (condutividade, pH etc.) *antes* do primeiro congelamento na chegada do inverno. Meses mais tarde, na primavera, logo após o primeiro descongelamento do lago, *medimos os mesmos parâmetros* e constatamos que os valores não são mais exatamente idênticos aos resultados das medidas feitas no início do inverno.

Este resultado evidentemente não surpreende: a quantidade e a qualidade da água são diretamente ligadas à história do ecossistema *lago* como um todo, que nasceu num passado geológico e desaparecerá novamente no futuro. Assim ele muda de ano a ano em vários aspectos: o volume se altera devido às variações climáticas, a composição química se modifica devido às variações de temperatura do ambiente e as trocas químicas com a atmosfera, biosfera e geosfera e levam a alterações das forças iônicas, da solubilidade e outras. E, finalmente, quando observamos o ambiente relevante do corpo de água do lago, registramos que o substrato geológico na área de influência do lençol freático do lago e os organismos que nele vivem também são influenciados, de maneira limitada, porém irreversível, pelo congelamento e descongelamento do lago e pelas variações climáticas.

O que é diferente entre a observação no laboratório e em condições naturais?

No primeiro experimento, isolamos uma parte do ecossistema e transformamos a amostra de água num sistema **fechado**, eliminando a troca de matéria e se permite ao sistema apenas a troca de energia em forma de calor. Assim se interrompe a relação direta e ativa entre a estrutura da água e o ambiente relevante (atmosfera, e substrato do lago) do sistema. O caminho da água para gelo e

a volta para água é assim determinado somente pelas *alterações das ligações entre as moléculas*, portanto por *modificações no nível do estado microscópico* da água. Como uma molécula de H₂O não sofre modificações estruturais na passagem de água ou gelo, a reversibilidade do processo no descongelamento será garantida nestas condições de laboratório.

No segundo experimento, o sistema é **aberto** e o ambiente relevante (campo de interação) está participando ativamente no processo, garantindo uma *interação* permanente entre a atmosfera, o substrato biogeoquímico, etc. e as moléculas de água. Com isto *os processos microscópicos* e a *interferência macroscópica* se sobrepõem durante o processo de congelamento e descongelamento e o resultado desta sobreposição se torna *imprevisível*.

Também neste segundo caso, as moléculas de água permanecem inalteradas pelo processo, no entanto, não determinam sozinho o resultado. Através da abertura do sistema são acrescentados fatores que freiam o efeito de reversibilidade que ocorre ao nível microscópico, impedindo que o sistema retorne a seu estado de partida.

Esta interação entre as dimensões micro – e macroscópicas, explica a irreversibilidade dos processos de transformação em sistemas abertos. Desta forma torna-se altamente improvável que o sistema encontre sua situação de origem e o seu futuro se torne uma probabilidade. Tudo indica que na evolução a reversibilidade e irreversibilidade sempre co-existem e se condicionam mutuamente. Quanto mais fechado um sistema, tanto mais dominante é sua capacidade de voltar ao seu ponto de origem.

Agora surge a pergunta: quando a nova qualidade do ecossistema lago se torna de fato visível ?

Uma experiência teórica pode dar uma resposta. Se filmássemos o lago durante décadas, poderíamos documentar sua transformação desde seu surgimento até seu desaparecimento. Observando o filme em câmera acelerada, poderíamos verificar, por exemplo, que depois de certo tempo aparecem os primeiros traços de um pântano. Mais tarde, aparecem as primeiras cenas onde podemos observar nitidamente um pântano. Isto é a nova qualidade do ecossistema observado. Assim, a nova qualidade surge quando, após um período normalmente longo, pequenas transformações irreversíveis das micro-condições, levam a mudanças macroscópicas do sistema.

Na geologia, tais transformações são geralmente descritas como *fases de transição* e são um elemento importante na divisão dos períodos geológicos. Típico para estas transições é a relativa rapidez com que elas ocorrem. Um lago pode viver por séculos, quando entra numa fase de assoreamento ele seca geralmente em poucos anos.

Atualidade, Realidade e Liberdade

Introdução

Quando se trata do Universo inorgânico temos alguma dificuldade em identificar processos evolutivos porque nossa percepção antropocêntrica e cartesiana do Universo ainda domina as ciências e dificultam uma abordagem mais descondicionada para abordar este problema de fundo filosófico.

Todos os sistemas complexos são produto de um processo evolutivo universal e inevitavelmente inseridos no conjunto das leis e princípios que regem o Universo. Apesar de nós vivermos esta realidade de acordo com nossas especificidades e nosso tipo de auto-organização, há uma *coerência de princípio* entre aquilo que vivemos (que podemos transformar e modificar, a realidade subjetiva) e *aquilo que acontece a nossa sociedade, na Terra e no Universo sem nosso conhecimento e sem nossa contribuição* (a chamada realidade objetiva). Se não fosse assim, não

seríamos capazes de comunicar-nos com o mundo que nos rodeia e certamente não teríamos chegado até o atual estado de desenvolvimento. Isto, obviamente não exclui a possibilidade de que a humanidade se revela no futuro como *turbulência* na evolução geral do Universo e desapareça sem deixar traços. Entretanto, até o momento ainda estamos vivos.

Esta coerência de princípio não é uma qualidade exclusiva dos seres humanos. Todos os sistemas complexos são obrigados de manter esta coerência de princípio para poder manter-se num estado estacionário. Então, o que significa *realidade* objetiva para sistemas complexos? Como estes sistemas se relacionam com a *realidade* do seu entorno? E que significa *realidade subjetiva* para um sistema complexo? Quando e em que condições um sistema complexo é *objeto* e quando é *sujeito*? A questão portanto é: o que é a *realidade objetiva* e *subjetiva* para um sistema complexo? Um sistema complexo pode ser sujeito? E em caso afirmativo, quem é o objeto?

Objeto e Sujeito em sistemas complexos

Voltamos ao conceito de campo de interação. Um sistema aberto *existe* enquanto *reflete a si mesmo* através do *seu* campo de interação. Esta *refletividade* é de maior importância para a evolução da espécie humana e dos sistemas complexos em geral e pode ser considerado um aspecto de *subjetividade* na relação entre a estrutura e o ambiente relevante.¹³

Sabemos que, apesar do campo de interação ser parte do sistema, este é igualmente configurado, em diversos graus de intensidade, por outros co-sistemas, acontecimentos e eventos do seu entorno. Assim, um sistema aberto não somente impõe sua influência ao seu ambiente relevante, mas ao mesmo tempo, sempre sofre também a influencia de processos externos. Desta maneira, o sistema precisa sustentar um permanente *feedback* entre estrutura e campo de interação, para manter a capacidade de adaptação estrutural às modificações do ambiente.

Esta capacidade de adaptação depende do tipo de organização e coesão estrutural e tem, portanto, limitações objetivas impostas pela inércia estrutural, uma característica fundamental de todo sistema. Entretanto, dentro destas limitações, a organização estrutural é capaz de configurar seu campo de interação de acordo com as necessidades de manutenção da própria coerência interna e de seu metabolismo. Esta capacidade de adaptação interna define o grau de *liberdade* de um sistema. O conjunto das modificações causadas no campo de interação dentre desta faixa de possibilidades é chamado de **atualidade** (do verbo *atuar* e em inglês *act e actuality*) do sistema; que possui um **componente subjetivo**, na medida em que é relacionado ao grau de liberdade ao tipo específico de **auto-organização** do sistema.

Além dos limites do seu campo de interação, no ambiente externo do sistema, o sistema perde sua capacidade de intervenção e, portanto sua *liberdade*.

Por outro lado, todos os fatores e parâmetros que o sistema não pode influenciar, são chamados **realidade** do sistema. A realidade é um conceito ligado à idéia do *absoluto*, oriundo da palavra *real*, descrevendo tudo aquilo que é *determinado pelo rei, a lei e o inevitável*. Neste caso trata-se de um conceito com um **componente objetivo**, no sentido que a realidade tem características que são impostas a cada sistema e descrevem o mundo da necessidade.

Como exemplo podemos mencionar nossa própria vida. Apesar das liberdades que cada indivíduo tem para organizar sua vida, nos não podemos escolher a época, o lugar do nosso nascimento, nem nossos pais ou nossa cultura. Isto são fatores *determinados* e constituem nossa *realidade*.

¹³É esta refletividade que é a base do desenvolvimento da espécie humana. O salto de qualidade na maneira como os primeiros humanoídes se enfrentavam com o ambiente natural e o processo de aprendizagem pode ser comparado a um espelho em que os humanos começaram a identificar sua própria imagem.

Dentro dela seremos capazes de construir nossa *atualidade* de acordo com nossos graus de *liberdade*.

A teoria do conhecimento distingue geralmente entre a atualidade que descreve *manifestações e fenômenos* e a realidade que descreve *o objeto em si*. Na literatura anglo-saxônica a distinção é feita entre *actuality* e *reality* (EBELING, 1994).

Conclusão

Todo sistema complexo possui uma dimensão auto-determinada e auto-organizada, *subjetiva*, e uma dimensão pré-determinada *objetiva*, que não pode influenciar e modificar.

Exemplos:

a) O sistema solar é composto por matéria cósmica e formou-se dentro de um conjunto de leis que determinam sua evolução. Entretanto, por menor que seja nosso sistema solar em relação ao Universo, o seu surgimento deu início a uma cadeia de processos que não são consequência direta das regras que configuraram seu surgimento. Assim, nosso sistema solar acabou modificando irreversivelmente a galáxia a partir da qual ele se formou;

b) A Terra, um sistema fechado que somente troca *energia* com nosso sistema solar, é composta por inúmeros sistemas complexos abertos (ecossistemas, e a sociedade humana) que trocam *energia e matéria* entre si. Tomamos o exemplo da relação entre a litosfera e a biosfera. O *campo de emergência* das primeiras estruturas orgânicas era a litosfera inorgânica, que determinava os parâmetros para as novas estruturas orgânicas emergentes. Estas estruturas orgânicas se desenvolveram criando um *campo de interação* que hoje engloba os solos, partes da hidrosfera, atmosfera e mesmo a litosfera que é constituída em parte por rochas de origem orgânica.

Podemos então comparar os sistemas complexos com *ilhas de autodeterminação* num *mar de determinação*.

Em vistas a estas considerações, o problema objeto - sujeito pode ser resumido da seguinte maneira:

a) O sistema complexo é *sujeito* na medida em que possui a liberdade de controlar certos parâmetros do seu ambiente relevante e onde ele transforma e reorganiza seu campo de interação de acordo com suas necessidades de manutenção e reprodução de sua coerência estrutural;

b) O sistema é *objeto* na dimensão na qual ele é *determinado* e *controlado* por parâmetros impostos que não pode influenciar;

c) Numa rede de sistemas com diferentes graus de complexidade, aqueles que possuem campos de interação mais potentes têm maior espaço para autodeterminação e liberdades dentro da rede.

Como a fronteira do sistema aberto é constituída pelos limites do campo de interação, ele delimita ao mesmo tempo o *espaço-tempo da autodeterminação*. Esta fronteira é dinâmica, modificando-se no decorrer da existência do sistema e deve ser entendida como uma zona de transição entre *identidade* e *diferença* do sistema.

Allopoiésis e Autopoiésis

De um modo geral distinguimos entre sistemas ou processos *allopoiéticos* e *autopoiéticos*.

Um processo allopoiético produz *outra coisa que os componentes de sua organização*. Uma máquina destinada a realizar um determinado trabalho é allopoiética porque não realiza trabalho para reconstituir seus próprios componentes. Uma linha de montagem de carros é um sistema

allopoiético na medida em que ela produz carros e não as próprias máquinas que compõem a linha de montagem.

Por outro lado, um processo é autopoietico quando ele *produz os componentes de sua própria organização*. Assim, geralmente os sistemas biológicos podem ser considerados autopoieticos. Um sistema autopoietico possui, portanto uma organização autônoma, capaz de manter-se a si mesmo. Ao contrário, a *reprodução* de um organismo biológico é considerada um processo allopoiético na medida em que os filhos são diferentes dos órgãos dos pais. Assim, é preciso distinguir entre reprodução e Autopoiésis (KRIPPENDORFF, 2009).

As bases teóricas da Autopoiésis

O conceito *autopoiésis* foi criado por Humberto Maturana em 1972 e teve uma grande influência nas discussões em torno da questão da auto-organização dos sistemas complexos. A palavra é composta de *auto* que significa (por si) próprio e *poiein* (grego) que significa fazer. Maturana e Varela sugerem que os sistemas biológicos devem ser interpretados a partir de uma perspectiva autopoietica. Com este conceito o autor pretende descrever a autonomia da organização interna dos sistemas vivos (MATURANA e VARELA, 1980)

A parte central desta teoria é constituída pela idéia da *auto-reflexividade* que foi interpretada como uma variação biológica da chamada teoria de *bootstrap* formulada por Chew (1968) e Fischer (1993).¹⁴ Maturana e Varela (1980) deixam claro, que suas reflexões teóricas são influenciadas pelo idealismo de G.Berkley, assim como pelos trabalhos de Schopenhauer e de Nietzsche. Maturana e Varela (1980) enfrentam a problemática relação entre o observador (sujeito), o observado (objeto) e o processo da observação, na medida em que eles tentam integrar o observador no processo de análise. Desta forma eles querem resolver o problema que decorre do fato que a perspectiva do observador, por ser orientada para um determinado objetivo, sempre encobre as verdadeiras premissas funcionais do sistema observado.

Os autores consideram, com razão, que a observação é sempre condicionada por uma formação de conceitos de caráter teleonômico.

Por exemplo, a afirmação *o pássaro tem asas para voar* pode ser analisada de um ponto de vista *teleológico* se consideramos que a finalidade de voar é a causa da existência das asas. Por outro lado, a interpretação é *teleonômica* se podemos explicar a existência das asas através da razão *porque* o pássaro quer voar.

Para evitar este dilema, Maturana e Varela (1980) concentraram suas atenções sobre o mecanismo do processo de cognição.

As bases empíricas do conceito

As idéias que levaram os autores ao conceito de Autopoiésis datam da década dos anos 60 no decorrer de pesquisas realizadas sobre a visão e a retina de primatas. Eles descobriram que o estímulo causado pela luz incidente sobre as células nervosas do olho não provoca nenhuma reação nas células do sistema nervoso central. Assim, eles deduziram que não há correlação claramente definida entre *estímulo externo* (a luz incidente) e a *codificação interna* (formação da imagem na mente). Entretanto, eles descobriram que há uma correlação direta entre a *atividade interna* da retina e a *codificação verbal* (a interpretação) que também é uma atividade interna dos neurônios.

¹⁴Fischer, H.R.: Autopoesis. Vig. Carl Auer, Heidelberg, 1993. Chew, G.F.: Bootstrap: a scientific idea? In: Science 161, p.762-765, 1968. Bootstrap significa cadarço e Chew utilizou a metáfora para descrever a relação entre estrutura e função em partículas subatômicas, reforçando a idéia que estruturas *produzem* suas próprias funções e vice-versa.

Estas pesquisas levaram os autores à formulação da teoria de que os sistemas vivos são autopoieticamente fechados (FISCHER, 1993).

O conceito de Autopoiesis contém cinco pontos básicos:

1. Conhecimento e observação. O aspecto central da teoria é a tentativa de explicar o processo de cognição. Os autores incluem o observador como elemento ativo neste processo e negam radicalmente o papel passivo e objetivo do observador. A Autopoiesis entende que a cognição é um processo interativo no qual o observador influi sobre o observado. A separação tradicional entre objeto e sujeito ou entre realidade e consciência se tornam nesta teoria uma construção do observador. A cognição é considerada assim um processo interativo entre o sujeito observador e o objeto observado;

Maturana e Varela (1987) sustentam o *caráter construtivista* de sua teoria na medida em que afirmam: *Todo fazer é conhecer e todo conhecer é fazer*. Como o idioma é considerado uma atividade biológica e, portanto, um *fazer*, se torna claro porque a comunicação verbal assume um papel central nesta teoria.

Partindo do fato que somente *diferenças* podem ser percebidas, os autores chegam à conclusão de que a cognição é o resultado de diferenças e a última referência de toda descrição somente pode ser o próprio observador que registra estas diferenças;

2. A vida como processo autopoietico. Organismos são sistemas capazes de produzir suas próprias partes. O exemplo citado é a célula com seu metabolismo, que produz partes essenciais de sua estrutura, tais como o núcleo e a membrana celular, cuja função é delimitar o espaço externo e interno do sistema. Em outras palavras, a membrana produz a unidade espacial da célula e a célula produz a membrana. Assim, a organização autopoietica de um sistema se sustenta, reproduzindo de maneira recursiva sua própria organização.¹⁵ Desta maneira percebe-se a razão porque os trabalhos de Maturana e Varela (1980, 1982, 1987) tiveram tanta influência na teoria de sistemas e do princípio de auto-organização.

Esta forma de auto-reprodução não deve ser confundida com o processo da replicação genética, que é considerado allopoiético;

3. A auto-organização. Em princípio as posições de Maturana e Varela (1980,1987) são amplamente conhecidas: a organização (de *organon*, grego, ferramenta) de um sistema é o conjunto das relações entre os elementos necessários para a sustentação do mesmo. Maturana (1987) afirma a respeito: *a identidade de um sistema é determinada por sua organização e esta se mantém inalterada enquanto a organização não se modifica*. Assim, o caráter de um sistema é determinado por sua organização. Desta maneira a organização e a função das partes são diretamente relacionadas e mantêm a unidade do sistema.

Para Maturana (1980) a estrutura de um sistema designa os aspectos materiais da coesão dos seus elementos. Em outras palavras, a organização define as fronteiras e a identidade de um sistema. Isto é possível também quando há modificações estruturais. Fischer explica isto da seguinte maneira: *a organização de um sistema autopoietico configura o espaço das possibilidades dentro da qual a estrutura pode mudar sem que haja perda de identidade* (FISCHER, 1993);

4. Operacionalmente fechado e metabolicamente aberto. Esta é a característica básica de um sistema autopoietico. É *a organização que se organiza a si mesma*. Esta característica Maturana (1987) chama de *auto-referência básica* descrevendo com este conceito uma forma de organização circular, que permanentemente reage a si mesmo. Este fechamento operacional também é chamado de autonomia. Então, um sistema autopoietico tem necessariamente um comportamento autônomo, o que não significa que todo sistema autônomo seja obrigatoriamente autopoietico.

¹⁵ Recursivo: Propriedade daquilo que se pode repetir indefinidamente

Na realidade, esta concepção teórica se aplica a todos os sistemas ditos vivos que são considerados *abertos do ponto de vista do fluxo energético* (metabolismo) e *fechados do ponto de vista de sua organização*. A troca de energia é assim a única relação deste sistema com seu ambiente;

5. A cognição. Para Maturana (ano), o fato de um sistema autopoietico ser operacionalmente fechado é uma condição básica para o fenômeno da cognição. Assim, estes sistemas não recebem informações do ambiente, ou seja, são fechados cognitivamente, o que significa que sistemas autopoietico recebem todo estímulo externo como perturbação que é *digerida* de acordo suas próprias leis internas que decorrem da sua forma de organização.

A consequência radical desta teoria é que os sistemas vivos não reproduzem internamente uma imagem do mundo externo, senão produzem sua própria realidade de acordo com os determinantes de sua estrutura.

Autopoiesis e a teoria de sistemas

Há muitos aspectos novos e interessantes nesta teoria. Entretanto, levada às últimas consequências, ela precisa ser usada com cautela. Por exemplo, Maturana (1987) chega a afirmar que *o que a gente não pode ver, não existe* e até parece que os autores abandonaram qualquer possibilidade de poder conhecer a realidade sobre o universo que nos rodeia.

Em primeiro lugar é importante ver esta teoria como uma resposta radical ao realismo ingênuo que por muito tempo dominou as ciências chamadas progressistas. Uma interpretação positivista da dialética (que somente conhece tese e antítese) levou muitos autores a achar que nossos conhecimentos e nossa consciência são simplesmente resultados de um *reflexo interno*, um espelho, da chamada *realidade externa*.

Parece que as interpretações teóricas do mundo sempre avançam pulando de uma posição extrema para outra. Isto pode ser uma necessidade para romper com a inércia da tradição. Entretanto, a história caminha aparentemente no trilho da média estatística, ou seja, não podemos desconsiderar aquilo que chamamos de *bom senso* e muitas vezes é aconselhado de basear nossa razão científica neste bom senso. A evolução do universo existia antes do nosso tempo e nos mesmos somos produtos deste processo. Toda nossa busca permanente de conhecimento é em última instância a tentativa incessante de entender a evolução. Parece que temos que reconhecer a existência de um mundo material que se transforma independentemente da nossa consciência e percepção. Entretanto, este mundo material, do qual fazemos parte, é permanentemente transformado, na medida em que tentamos desvendar seus segredos e intervir nele. Assim, nossa consciência tem de fato um lado autopoietico, na medida em que temos certa liberdade de produzir nosso próprio ambiente. Por outro lado, esta liberdade é limitada concretamente por uma série de parâmetros impostos pelo mundo material e é justamente nesta fronteira que é gerado nosso conhecimento.

Em outras palavras, os seres humanos se comunicam porque tem experiências semelhantes e compatíveis entre si, e porque são produtos do mesmo processo de evolução. Assim, se bem que cada indivíduo produz sua forma individual de ver o mundo, *sua verdade*, a matriz de todas as "verdades" individuais é a mesma.

Visto desta maneira, parece que nem o realismo ingênuo e nem o construtivismo biológico radical, são capazes de dar uma resposta satisfatória ao problema central da teoria de conhecimento: a relação entre *ser e pensar*.

A Autopoiesis fornece aspectos importantes para a compreensão dos sistemas complexo quando depurada do seu radicalismo construtivista. Neste sentido podemos afirmar que sistemas biológicos, mesmo *fechados do ponto de vista de sua organização* estrutural, seu metabolismo

energético é aberto e permite a troca de informações com o seu ambiente. O metabolismo energético é um processo de maior importância para a sustentação da auto-organização de *todos os sistemas complexos*, não somente dos sistemas vivos, porque ele representa a base da troca de informações entre sistema e ambiente, ou entre sistemas de um modo geral. É a maneira *como* este metabolismo funciona que determina como sistemas decodificam os sinais do seu entorno e os organizam em informações relevantes para sua organização interna. Assim, apesar do *fechamento organizacional a realidade é uma construção coletiva* baseada na troca de informação entre os sistemas abertos e certamente não somente um produto da percepção *individual* de cada sistema.

A evolução da matéria

Para a teoria de sistemas a evolução é um processo universal e não começou simplesmente a partir do surgimento de sistemas orgânicos na Terra. Mesmo se há uma diferença qualitativa entre sistemas complexos orgânicos e inorgânicos, os princípios básicos que definem um processo evolutivo são válidos para todos os sistemas complexos.

Por esta razão vale a pena mencionar neste contexto o conhecimento atual sobre a evolução do Universo, o que equivale à evolução das estruturas materiais complexos de um modo geral.

A evolução do Universo é estudada a partir da distribuição da radiação e das diversas formas e estruturas materiais que podemos observar. Assim, a radiação é para o astrofísico o que são os fósseis para o geólogo: vestígios do passado que permitem reconstituir a história do Universo ou do planeta. Em termos físicos a evolução da matéria pode ser considerada um processo de mudanças de fases, comparável à condensação de vapor para líquido e sólido.

Partimos das leis básicas da física que são fundamentadas nos princípios de *simetria* e nos princípios de *conservação*.

De ambos os princípios decorre uma série de leis amplamente conhecidas, por exemplo, a lei da conservação de energia, a lei da simetria das cargas elétricas (conservação da carga), simetria entre matéria e anti-matéria (conservação do número de bárions), simetria ótica (conservação da paridade), etc.

Por outro lado sabemos que a evolução é fundamentalmente um processo *quebra de simetria* na medida em que a irreversibilidade é um dos princípios básicos da evolução. Assim, a pergunta é: como pode, a partir das leis básicas de conservação e de simetria, surgir toda a evolução do universo baseada na assimetria e a não-conservação?

Tudo indica que a quebra de simetria e não-conservação podem ser vistos *dentro* de uma matriz de fenômenos simétricos. A assimetria é assim comparável a um *espaço de liberdade* dos sistemas em evolução dentro de um universo determinado pela simetria e a conservação. De uma maneira geral podemos afirmar que a *evolução é desenvolvimento da assimetria e da irreversibilidade num contexto global de simetria e conservação*.

Atualmente a resposta da física é que o surgimento da assimetria se deve à *flutuações quânticas espontâneas* dentro da matriz do Universo, o *vácuo*.

Como analogia podemos dar o exemplo da água, que em estado líquido é homogênea e isotrópica. Se a temperatura desce abaixo de 0°C, observamos o surgimento de estruturas cristalinas direcionadas que rompem com o estado homogêneo e isotrópico anterior. O surgimento do gelo depende de uma flutuação em nível microscópico que rompe com as leis da simetria e conservação que regem o estado líquido e que serão substituídas pelas leis que governam o estado sólido.

Em nível cosmológico conhecemos os seguintes exemplos de assimetria:

- **A Entropia** que somente pode *crescer com o tempo*;
- **O Tempo** somente pode ir *em frente*;

- **O Universo** está em processo de *expansão*;
- **Matéria e anti-matéria** cuja distribuição é *desigual*.

Um fator decisivo neste processo parece ser a expansão do Universo, descoberta por **Edwin Hubble** em 1929. Numa primeira aproximação ele calculou a idade do universo e encontrou um valor de 2 bilhões de anos. Após várias modificações chegamos hoje á uma idade de aproximadamente 16 bilhões de anos, com tendência crescente.

A idéia do *Big-Bang*, postulada em 1922 pelo matemático russo Alexander Friedman, apesar de amplamente aceita, apresenta hoje pelo menos dois problemas que levantam dúvidas á respeito desta teoria:

- A primeira dúvida decorre da incompatibilidade entre as in-homogeneidades cosmológicas que observamos na distribuição das massas universais e a homogeneidade da radiação de fundo (TULLY & FISHER 1977).¹⁶

- A segunda dúvida decorre da incompatibilidade entre a intensidade da gravitação e a massa observada no universo. Em outras palavras constatou-se a *falta* de muita massa no Universo, a chamada *matéria negra*. Uma das teorias mais conhecidas decorrentes indiretamente desta diferença é a conhecida teoria dos buracos negros (TREFIL, 1988).

Independentemente destes problemas decorrentes da idéia da *singularidade do Big-Bang*, se aceita amplamente que o Universo se encontra em expansão. Matematicamente dispomos hoje de dois tipos de equações com as quais podemos descrever a expansão da massa do universo em função do tempo:

- as *equações da relatividade geral*, relacionando gravitação á massa – energia;
- as *equações da mecânica quântica*, que regem a conservação de energia desde sua forma primordial (fótons super-quentes) até as formas mais recentes como neutrinos, elétrons, nêutrons e prótons.

Os primeiros três minutos do Universo

De um modo geral há hoje bastante consenso em torno das seguintes características da evolução do Universo:

- O Universo é um campo térmico com uma diferença de potencial térmico entre o 0°K (o chamado zero absoluto) e 3.10^{12} °K (a estimada temperatura no momento exato do nascimento do Universo);
- As diversas etapas da evolução do Universo podem ser descritas como transições de fases, ou seja, saltos de qualidade;
- A evolução do Universo é um fenômeno que resulta de uma quebra de simetria e o posterior desenvolvimento da mesma. Desta maneira imagina-se que todas as estruturas materiais que conhecemos são produtos da *diferenciação* contínua desta quebra de simetria.

A evolução das estruturas materiais do cosmos é razoavelmente bem entendida á partir dos 10 primeiros pico-segundos após o *Big-Bang*. O grande problema consiste na compreensão do que ocorreu antes, porque não há como gerar energias suficientemente elevadas para reproduzir este momento experimentalmente.¹⁷

¹⁶ *Descoberta dos „super-clusters“*. Hannes Álfen (1981,1983) e Lerner (1991). A radiação cosmológica de fundo, considerado o primeiro vestígio do *Big Bang*, é uma radiação eletromagnética com uma temperatura extremamente constante de 2,7°K em todas as direções do universo. Esta homogeneidade térmica é contraditória com a completa inhomogeneidade da distribuição da massa no universo.

¹⁷ Os grandes aceleradores de partículas tais como CERN e Fermilab são capazes de produzir energias de aprox. 100 GeV, o que corresponde presumidamente á temperatura do Universo após 10 picos-segundos do *Big Bang*.

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Fonte: Tahoma, 8 pt

Formatado: Fonte: Tahoma, 8 pt

Formatado: Normal, Sem controle de linhas órfãs/viúvas

Formatado: Fonte: Tahoma, 8 pt, Itálico

Formatado: Fonte: Tahoma, 8 pt

Formatado: Fonte: Itálico

Entretanto, se assume que neste espaço de tempo o Universo recém nascido foi pequeno, muito quente e em equilíbrio térmico. Matéria, anti-matéria e fótons estavam presentes em quantidades iguais, da mesma forma todas as forças que atuavam neste universo eram iguais, com exceção da gravitação, ainda inexistente devido à ausência de massa. Não havia assimetrias neste momento.¹⁸

A *primeira transição de fase*, etapa conhecida como *congelamento do vácuo*, criou o campo de Higgs, o primeiro campo de forças responsável para a quebra da simetria original, ou seja, o campo de emergência para o surgimento dos quarks e as forças atômicas fracas.

A *segunda fase de transição* é conhecida como a etapa da *condensação dos bárions*. A partir desta etapa a velocidade das transições diminuiu rapidamente. Assim, após 10^{-2} segundos do *Big-Bang*, o Universo já é composto por elétrons, pósitrons, neutrinos, anti-neutrinos e fótons. O número de nêutrons e prótons (os componentes dos futuros núcleos atômicos) ainda é pequeno.

Três minutos após o *Big Bang*, a temperatura já havia caído de cerca de 100 bilhões a um bilhão de graus Kelvin. Grande parte dos elétrons e todos os pósitrons haviam desaparecidos. Sobraram basicamente neutrinos, anti-neutrinos e fótons (WEINBERG, 1978). Alguns prótons e nêutrons, entretanto interagem intensamente, gerando no final dos primeiros três minutos um balanço de 14% nêutrons e 86% prótons.

O primeiro milhão de anos do Universo

A *terceira grande fase de transição* começa após os primeiros três minutos e corresponde à condensação dos primeiros núcleos atômicos: nascem os *núcleos de hidrogênio*. Este processo durou aproximadamente 70.000 anos, nos quais a temperatura caiu para aproximadamente 3000°K. No final desta época a **matéria**, propriamente dito, havia nascido. Esta época cosmológica tem outro aspecto de maior importância: é a transição de um universo regido pela energia na forma de **radiação** para um universo regido crescentemente pela energia na forma de **massa material** e em consequência pela força da gravitação. O principal vestígio dos tempos da radiação é a mencionada radiação de fundo.

No final dos primeiros milhões de anos a matéria do cosmos estava condensada em duas formas estáveis e eletricamente neutras: os átomos de Hidrogênio e de Hélio, mais alguns elementos leves e, sobretudo neutrinos e anti-neutrinos.

As principais etapas da evolução do universo podem ser resumidos da seguinte maneira:

¹⁸ Estes primeiros momentos são descritos pela chamada Grande teoria de Unificação, GUT (Grand Unified Theory) que tenta unificar as 4 forças principais que regem o universo físico: a gravitação, as forças eletromagnéticas e as forças nucleares fortes e fracas.

Idade do universo (em segundos)	Eventos principais
Primeira transição	
$<10^{-43}$	Efeito de gravitação quântica
$10^{-43} - 10^{-32(35)}$	Congelamento do vácuo , fase de transição, quebra de simetria.
$10^{-33} - 10^{-6}$	Surgimento do quark e das forças atômicas fracas
Segunda transição	
$10^{-6} - 10^{-3}$	Surgimento dos bárions (núcleons e mésons)
$10^{-3} - 10^{+2}$	Surgimento dos léptons (elétrons e neutrinos)
Terceira transição	
$10^{+2} - 10^3$	Surgimento dos núcleos atômicos
$10^3 - 3 \cdot 10^{13}$	Surgimento dos átomos e moléculas
$10^6 - 2 \cdot 10^{10}$ (anos)	Surgimento galáxias e vida planetária

Quadro 4 - As etapas principais da evolução do Universo

Podemos ver então que na evolução do Universo há etapas qualitativas definidas, irreversibilidade e abertura para o futuro. O primeiro milhão de anos foi fundamental para este processo e foram o desequilíbrio e o rompimento da simetria que de fato impulsionaram a emergência de sistemas cada vez mais complexos numa dinâmica irreversível.

Referências

- ATKINS, P.W. (1986): *The Second Law*, Spektrum der Wissenschaft, ISBN 3-922508-78,
- AYRES, R.U. (1994): *Information, Entropy and Progress*, AIP Press,
- BECKENBACH, F., DIEFENBACHER, H.D. (Eds.) (1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation*, Metropolis.
- BERTALANFFY, L. (1976): *General System Theory. Foundations, Development, Applications*, Publisher: George Braziller.
- BLACKMORE, J.T 1995 (Ed.) *Ludwig Boltzmann: His Later Life and Philosophy, 1900--1906* Book One: A Documentary History Series: Vol. 168 ISBN: 978-0-7923-3231-2
- BRILLOUIN, L. (1962): *Science and Information Theory*, New York,.
- BUNGE, M. (1979): *Treatise on Basic Philosophy*, p.4, Vol.4, Reidl Pub. Comp.
- CHEW, G. F. (1968): *Bootstrap: a scientific idea?* In: Science 161, p.762-765.
- EBELING, W. (1989): *Chaos-Ordnung-Information*, Vlg. H. Deutsch.
- EBELING, W. (1994): *Selbstorganisation und Entropie in ökologischen und ökonomischen Prozessen*, p.29-46, in: Beckenbach, F. & Diefenbacher, H. (Eds.): *Zwischen Entropie und Selbstorganization*, Metropolis.
- EBERT, R. (1974): *Entropie und Struktur kosmischer Systeme*. In: Weizsäcker, E. (Hsg): *Offene Systeme I*, Klett.
- EIGEN, M. (1988): *Biologische Selbstorganisation. Eine Abfolge von Phasensprüngen*. p.114. In: Hierholzer, K. und Wittmann, H.G. (Eds.): *Phasensprünge und Stetigkeit in der natürlichen und kulturellen Welt*, WVG, Stuttgart.
- ERTL, G. (1988): *Phasenumwandlung und Selbstorganisation in chemischen Systemen*. In: Hierholzer, K. und Wittmann, H.G.: *Phasensprünge und Stetigkeit in der natürlichen und kulturellen Welt*. Wiss. Konferenz in Berlin, 8-10 Okt, 1987. Wiss. Verlagsges.m.b.H., Stuttgart.
- FENZL, N. (1994): *Autopoiesis, Eine Kritische Begriffserläuterung*, Projektdokument, I.G.W. Technische Universität Wien.
- FENZL, N. (1987): *Introdução á Hidrogeoquímica*, Belém, Gráfica UFPA.
- FENZL, N. (1997): *Some Considerations about Interaction and Exchange of Information between Open and Self-Organizing Systems*, World Futures, Vol.49, pp.401-408, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- FISCHER-KOWALSKI, M., HABERL, H (1993): "*Metabolism and colonization: modes of production and the physical exchange between societies and nature*", Innovation in Social Sciences Research, Vol. 6 No.4, pp.415-42.

FISCHER, H. R. (1993): *Autopoiesis*, Vlg. Carl Auer, Heidelberg.

FRITSCH, H. (1984): *The Creation of Matter*, Basic Books, New York.

FUCHS-KITTOWSKI, K. (1994): Projektdokument, I.G.W. Technische Universität Wien

HAKEN, H. (1982): *Synergetik, Eine Einführung*, Springer.

HAWKING, S.W. (1988): *Eine kurze Geschichte der Zeit*, Hamburg.

JAHN, R. (1993): *Systemtheorie und Information*, Projektpaper,

KAUFFMAN, S. A. (1992): *Origin of Order, Selforganization and Selection in Evolution*, Oxford Univ. Press,

----- (1991): *Leben am Rande des Chaos*, Spektrum der Wissenschaft, Oktober

KRIPPENDORFF, K. A *Dictionary of Cybernetics*, Disponível em: <<http://pespmc1.vub.ac.be/ASC/Kripp.html>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

KROHN, W., KRUG, H.J., KÜPPERS, G. (1992): *Selbstorganisation*, Jb. Für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften, Bd.3. Duncker & Humboldt,.

KRUSE, P., ROTH, G., STADLER, M. (1987): *Ordnungsbilder und psychophysische Feldtheorie*. In: Gestalt Theory, 9.

KUCHLING, H. (1981): Taschenbuch der Physik, 3. Aufl. Harri Deutsch, Thum,

LASZLO, E. (1987): *Evolution, die neue Synthese*, Europaverlag.

LAZUTKIN, V. F. (1993): *KAM theory and semi-classical approximations to eigenfunctions*, Springer.

LEONTJEW, A.N. (1973): *Probleme der Entwicklung des Psychischen*. (Problems of the development of the psyche), Frankfurt am Main, Germany; Athenäum.

LOVELOCK, J. (1979): *Gaia, a New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press.

MAHNKE, R.; SCHMELZER, J. RÖPKE, G. (1992): *Nichtlineare Phänomene und Selbstorganisation*, B.G.Teubner, Stuttgart.

MAINZER, K. (1994): *Thinking in Complexity*, Springer.

MATURANA, H.R. (1982): *Erkennen: die Organization und Verkörperung von Wirklichkeit*, Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig, Wiesbaden.

MATURANA, H.R., VARELA F.J. (1980): *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. Boston Studies in the Philosophy of Sciences. Vol. 42, D. Riedel Publishing Co., Boston, Dordrecht.

MATURANA, H.R. & VARELA, F.J. (1987): *Der Baum der Erkenntnis*, Vlg. Scherz,.

MOCEK R. (1986): *Systemdenken zwischen Dialektik und Konstruktivismus*, Dialektik, Bd.12,.

SANDKÜHLER, H. J. (Hsg): (1990): Europäische Enzyklopedie zu Philosophie und Wissenschaften, Band 4, Felix Meiner Verlag,.

ODUM, E. P., BARRETT, G.W. (2007): *Fundamentos de Ecologia*, Editora: CENGAGE LEARNING
ISBN : 8522105413 5 º Edição - 750 pág.

PIERCE, J.R. (1972): *Communication*, Scientific American, Sept.,

PRIGOGINE I., STENGERS, I. (1993): *Time, Chaos and the Quantum. Towards the Resolution of the Time Paradox*, Piper.

PRIGOGINE, I., STENGERS, I. (1984): *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. New York: Bantam Books.

RAPAPORT, A. (1988): *Allgemeine Systemtheorie*, Vlg. Darmstätter Blätter,.

REHM, W., WELSCH, H., FAIX, W.(Hsg.), (1993) : *Synergetik*, IBM Symposiumschrift, expert-Verlag,.

ROSENFELD, I. (1953): *Louis de Broglie, physicien et penseur*, Éditions Albin Michel, Paris.

RUBINSTEIN, S.L. (1959): *Sein und Bewußtsein*, Berlin.

SANDKÜHLER, H.J (1990) : *Europäische Enzyklopedie zu Philosophie und Wissenschaften*, Hsg. Band 4, Felix Meiner Verlag.

SHANNON, C. E., WEAVER, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana.

SHALIZI, C.; SHALIZI, K. E HASLINGER, R. (2004): *Quantifying Self-Organization with Optimal Predictors*. Phys. Rev. Lett. 93, 118701

SHELDRAKE, R. (1988): *The Presence of the Past: Morphic Resonance and the Habits of Nature*. Londres: Collins.

STADLER, M. UND KRUSE, P. (1988): *Gestalttheorie und Theorie der Selbstorganisation*, in: Gestalt Theory Nr.8.

STONIER, T. (1990): *Information and the Internal Structure of the Universe*, Springer,.

TREFIL, J.S. (1983): *The Moment of Creation: Big Bang Physics*, Charles Scribner's Sons/Macmillan Publishing Company, New York

TREFIL, J.S. (1988): *The Dark Side of the Universe*, Charles Scribner's Sons/Macmillan Publishing Company, New York.

WALDROP, M. M. (1993): *Die Erforschung komplexer Systeme*, Rohwolt.

WASSERMANN, H. (1995): *Betrachtungen von Informationsphänomenen im betrieblichen Umfeld*. Projektbeitrag, IGW, TU-Wien,.

WEHRT, H. (1974): *Über Irreversibilität, Naturprozesse und Zeitstruktur*, in: In: WEIZSÄCKER, E. (Hsg): *Offene Systeme I*, Klett,

WEINBERG,A.M. (1978): *Reflexions on the Energy Wars*. In: American Scientist **66**(2), March, April, p.153-158.

WEIZSÄCKER ,E.(Hsg), (1974): *Offene Systeme I*, Klett,

WEIZSÄCKER, C.F. (1971): *Die Einheit der Natur*, Hanser Vlg.,

WEIZSÄCKER,E. (1974): Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information., in: *Offene Systeme,I*, Klett,.

WIENER,N. (1961): *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York & London: MIT Press and John Wiley & Sons