

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

UNIVERSO CRIATIVO

Aluna: Luciana Pompéia Cavalcanti

Orientador: Jorge de Albuquerque Vieira

PROJETO DE FIM DE CURSO

*UNIVERSO
CRIATIVO*

Agradecimentos:

Agradeço ao meu orientador, Jorge Vieira, por me ajudar a trabalhar em um tema tão diferente e abrangente como o que se propõe esta monografia e por sua paciência e estímulo nos momentos difíceis.

Quero agradecer ao meu querido amigo Jaime Rocha por sua incrível dedicação à este trabalho, de seus livros emprestados às longas conversas que muito me ajudaram.

Desejo agradecer também a Antonio Augusto Videira por uma pequena mas fundamental iniciação à filosofia da ciência.

Ao meu grande amigo André Monteiro o meu obrigada pelas lindas ilustrações.

Golda, beijão por me ajudar a finalizar este trabalho.

Aos meus pais um grande abraço pelas conversas e pelo incentivo.

Aos meus avós,

Paulo
e
Wanda

Teófilo
e
Edith

*Não, não sei se é um truque banal
Se um invisível cordão
sustenta a vida real
Cordas de uma orquestra,
sombras de um artista
Palcos de um planeta,
e as dançarinas no grande final
Chove tanta flor que, sem refletir
Um ardoroso espectador vira colibri
Qual, não sei se é nova ilusão
Se após o salto mortal existe outra encarnação
Membros de um elenco,
malas de um destino
Partes de uma orquestra,
duas meninas no imenso vagão
Negro refletor, flores de organdi
E o grito do homem voador ao cair em si
Não, não sei se é vida real
Se um invisível cordão após o salto mortal*

O Circo Místico (Edu Lobo e Chico Buarque)

Resumo:

Este trabalho consiste numa descrição da evolução dos constituintes e dos processos universais sob o enfoque de uma organização e complexificação crescentes. Para tanto, utilizamos uma teoria que nos serviu de base ontológica, a Teoria Geral de Sistemas. Partimos do princípio que o universo é finito no tempo, e possui um começo. Adotamos o modelo padrão como modelo cosmológico. Através desse modelo nossa descrição foi realizada. Ainda discutimos a complexificação não apenas dos constituintes mas também dos processos, principalmente do ponto de vista termodinâmico, com conceitos recentes como o de estrutura dissipativa. Finalmente, colocamos o problema da realidade objetiva do tempo e o caráter histórico do universo.

Palavras-chave: universo, ontologia, evolução, história, tempo, criação.

Sumário

INTRODUÇÃO.....	2
CAPÍTULO I - A TEORIA GERAL DE SISTEMAS	3
SISTEMA.....	3
COMPOSIÇÃO.....	4
MEIO AMBIENTE.....	4
ESTRUTURA.....	5
NÍVEL	7
REUNIÃO E EMERGÊNCIA.....	7
CONECTIVIDADE.....	9
FUNÇÃO	10
INTEGRALIDADE	11
EVOLUÇÃO	12
CAPÍTULO II - UNIVERSO PRIMITIVO	14
criação.....	14
O BIG BANG.....	15
A ERA DOS QUARKS.....	16
A ERA DOS HADRONS	21
A ERA DOS LÉPTONS.....	25
A ERA DA RADIAÇÃO.....	26
A FORMAÇÃO DAS GALÁXIAS	29
CAPÍTULO III - ENTROPIA E ORGANIZAÇÃO	34
A DESCOBERTA DA ENTROPIA.....	35
ENTROPIA, GÊNESE E INFORMAÇÃO	41
CAPÍTULO IV - TEMPO E CRIATIVIDADE	48
A FLECHA DO TEMPO	50
O UNIVERSO CRIATIVO	51
BIBLIOGRAFIA	54

Introdução

A idéia original deste trabalho era uma idéia não muito simples. Se nosso universo possui seres, ou seja, partes de si próprio, que refletem sobre si e sobre o mundo que os cerca, então este universo deve ser capaz de produzi-los, deve possuir em sua miríade de possibilidades uma que seja capaz de criar seres complexos e por fim seres auto-reflexivos. Mas, será esta produção algo que existiu por toda a eternidade, em todos os tempos, ou será o produto de um processo evolutivo, que ocorra em um determinado momento da existência deste universo? Se adotarmos o modelo do Big Bang teremos um universo não que existiu desde sempre, mas teve um começo. Além disso, seu começo teria sido um estado informe, onde tudo era *caos*. Este será o modelo por nós adotado por concordar com a maior parte das observações astronômicas já feitas. Veremos que, neste contexto, para comportar seres organizados, o cosmo passou por uma longa e magnífica história evolutiva, uma história a ser contada.

Para apresentarmos essa história através do prisma da complexidade e da organização crescentes, nosso objetivo principal, escolhemos uma linguagem sobre a qual a descrição dos passos evolutivos será feita, a Teoria Geral de Sistemas, apresentada no primeiro capítulo. A partir do segundo capítulo se desenrola a história do cosmo, a história da formação e desenvolvimento dos constituintes deste universo.

De fato não alcançamos a meta evolutiva até os seres auto-reflexivos (talvez por ser essa meta complexa *demais*), mas descobrimos entidades, processos, mecanismos e desvios que produzem, re-produzem e proliferam a complexidade.

Capítulo I

A TEORIA GERAL DE SISTEMAS

Neste capítulo apresentaremos noções básicas da Teoria Geral de Sistemas, segundo principalmente Bunge (1979), em sua proposta de uma Ontologia Científica de caráter sistêmico. Acreditamos que essa teoria poderá ajudar na compreensão e reflexão dos temas levantados nesse trabalho. Ela nos servirá de base ontológica sobre a qual apresentaremos e discutiremos os temas aqui levantados.

Sistema

Definimos *sistema* como um conjunto de coisas, materiais ou conceituais, que possuem algum tipo de relação, interação ou conexão entre si, coisas que partilham propriedades comuns. A propriedade mínima partilhada entre partes de um sistema é a de pertencimento a este sistema. Uyemov (Uyemov, 1975: 96) define sistema como “uma quantidade (m) de elementos na qual a relação (R) entre eles é efetivada com a propriedade previamente fixada (P):

$$(m)S =_{df} [(R)] P”.$$

Um amontoado de livros, por exemplo, não constitui um sistema pois suas partes, os livros, não interagem entre si formando um todo, e a história do conjunto será a soma das histórias individuais de cada livro; tal entidade é denominada *agregado*. Em um agregado a ausência de um de seus componentes não afeta de forma alguma o comportamento do resto do conjunto; seus elementos agem independentemente.

Já em um sistema, seus constituintes têm que estar, no mínimo, conectados com pelo menos *um* outro componente do próprio sistema, para que este seja caracterizado como tal, portanto as histórias dos componentes sistêmicos estão sempre acopladas, imbricadas umas com

as outras. Um sistema é portanto um conjunto que, em certa medida, forma uma unidade, uma totalidade e uma individualidade. Esta última qualidade exprime a propriedade que todo sistema possui de distinguir-se do meio, de possuir um certo grau de independência e separação do todo que o cerca; quando essa separação diminui excessivamente o sistema se torna instável e pode vir a quebrar-se ou desintegrar-se.

Composição

A *composição* de um sistema é o conjunto de seus itens ou componentes. Especifica-se normalmente a *composição atômica* de um sistema. Esta pode ser compreendida através do seguinte exemplo: uma mulher é um sistema biológico, neste sentido seus componentes são os órgãos, tecidos ou mesmo células das quais ela é constituída; a união de todos esses componentes forma a composição atômica do sistema mulher a nível biológico. A nível físico-químico sua composição atômica será formada pelas cadeias protéicas, ácidos e a infinidade de moléculas e átomos que a constituem. A composição atômica é portanto determinada dado um certo nível específico e a soma desta em todos os níveis forma a composição total do sistema.

Meio Ambiente

O *meio ambiente* de um sistema são todos os itens aos quais ele está relacionado. Qualquer coisa que tenha ligação com um componente do sistema faz parte de seu meio ambiente. Dessa forma, todas as coisas do universo possuem um meio ambiente, exceto, talvez, o próprio universo.

O *meio ambiente imediato* de um sistema é o conjunto de coisas com as quais ele interage significativamente. Na pesquisa sobre a órbita de um planeta a influência gravitacional de uma estrela da vizinhança solar sobre ele será desprezível frente a influência do próprio sol e dos

outros planetas; embora ela pertença ao meio ambiente do planeta sua ação sobre ele, devido à sua distância, pode ser considerada nula, ou seja, a estrela não pertence ao seu meio ambiente imediato. Segundo Bunge (1979) “o meio ambiente imediato de uma coisa é a composição de seu supersistema seguinte”.

Em quase todo trabalho envolvendo sistemas estuda-se apenas o meio ambiente imediato, e, muitas vezes, neste são enfocados itens de determinados níveis. Quando um biólogo deseja estudar os processos de nutrição de um determinado tipo de planta, ele não só levará em conta apenas o ecossistema imediatamente em volta da planta como neste serão selecionados somente os itens que podem influenciar na nutrição da planta.

Estrutura

A *estrutura* de um sistema consiste no conjunto de todas as relações dos constituintes sistêmicos entre si e com os itens de seu meio ambiente. A *estrutura interna* é definida como a união de todas as relações dos componentes do sistema entre si, e a *estrutura externa*, como a união de todas as relações destes com os componentes de seu meio ambiente. Existe ainda a *estrutura espacial* (ou *configuração*) que é “o conjunto de relações espaciais entre as partes de uma coisa”. Um agregado concreto (formado de coisas materiais), embora não possua uma estrutura sistêmica possui uma estrutura espacial.

Todo sistema possui no mínimo, uma composição, uma estrutura e um meio ambiente, e estas são propriedades suficientes que o definem como ente único no universo. Embora ele possa ser idêntico em composição e estrutura interna a outro sistema, sua estrutura externa nunca será idêntica à de qualquer outro.¹

¹ Na física subatômicas existem partículas que são qualificadas de *indistinguíveis*, o que poderia causar um pouco de confusão a respeito desta afirmação. Em termos ontológicos, isto é, em termos de sua existência enquanto ente deste universo, todas as partículas, indistinguíveis ou não, são únicas e possuem estruturas externas diferentes. Em

Nas relações que um sistema estabelece com elementos externos a ele, há, em geral, uma partilha de propriedades. Dizemos que o sistema é um *sistema aberto* com relação a uma determinada propriedade se esta estiver relacionada a pelo menos uma outra propriedade de um componente de seu meio ambiente. Observa-se assim que todos os corpos materiais são abertos com relação à força gravitacional e todas as cargas, com relação à força eletromagnética. Um sistema que não age sobre nenhuma outra coisa e também não sofre a ação de nenhum outro item de seu meio é denominado *sistema isolado*. Como o meio ambiente total das coisas do universo é sempre não-nulo, excetuando, talvez, o meio ambiente do próprio universo, este é o único sistema que pode ser isolado.

A abertura dos sistemas com relação a diferentes propriedades cria um aspecto dinâmico no sistema. As flutuações do meio serão sentidas (devido à abertura), internalizadas e processadas dentro do sistema. À essas flutuações o sistema poderá reagir de formas diversas: ignorando-as, isto é, sofrendo poucas alterações e não saindo de seu equilíbrio; reagindo a elas, ou alterando seu estado de forma a superar as modificações internas causadas pelas flutuações ou evitar essas próprias modificações, e, ainda, quebrando-se ou desintegrando-se, se as flutuações forem extremamente intensas e súbitas. Neste sentido, é extremamente importante a resposta do sistema à conjuntura física, psíquica, sócio-econômica, etc, em que se encontra. Sua permanência será tão mais prolongada quanto maior for a sua capacidade de superar as, ou adequar-se às inconstâncias do meio.

mecânica quântica existem partículas *idênticas*, que não possuem, para nós, diferenças entre si. Poderíamos distingui-las através do conhecimento de suas posições, entretanto, ao se fazer incidir um fóton para medir a localização de um elétron, por exemplo, este tem sua velocidade e sua direção de movimento alteradas. Assim, não podemos saber com certeza a posição de uma partícula elementar, e, conseqüentemente sua estrutura externa. A mecânica quântica portanto delimitou o conhecimento teórico a respeito do mundo, existem fenômenos os quais o desenvolvimento tecnológico não poderá alcançar.

Nível

As estruturas podem apresentar níveis. Por exemplo, na cadeia de DNA humano a *estrutura primária* é a sequência de aminoácidos, a *estrutura secundária* é sua forma helicoidal e a *estrutura terciária*, a configuração em X ou Y no cromossoma. Existe uma superposição de estruturas consequente à inclusão de subsistemas em sistemas maiores, isto é, subsistemas se interrelacionam formando um sistema e a totalidade de conexões é a estrutura do sistema; este por seu vez se relaciona com outros sistemas formando a estrutura de um supersistema e assim por diante. A estrutura $(n+1)$ -ésima de um sistema pode ser vista como a estrutura total de seu n -ésimo supersistema.

À cada patamar estrutural é associado um *nível*. Quase todas as coisas, exceto (hoje diríamos) os quarks, são compostas de coisas pertencentes a níveis precedentes. Uma árvore é formada de tecidos, que por sua vez são formados de moléculas, que são formados de átomos, que são formados de prótons, elétrons e nêutrons, que são formados de quarks. Dessa forma, as estruturas se superpõem indefinidamente formando sistemas de níveis cada vez maiores.

Reunião e Emergência

Quando coisas se unem e formam um sistema dizemos que este é um processo de *reunião*. Os componentes que formam um sistema são chamados precursores. Este processo pode ser natural ou artificial; todos os sistemas que não foram formados pelo homem são produtos de processos naturais que são denominados auto-reunião.

O sistema resultante possui sempre propriedades diversas daquelas de seus precursores, tais propriedades são chamadas *emergentes*. *Emergência* é toda propriedade de um determinado sistema que não existia em nenhum de seus precursores. Moléculas de água isoladas, por exemplo, não apresentam as propriedades de viscosidade, incompressibilidade e capilaridade. Tais propriedades emergem quando um grande número dessas moléculas é reunido.

Existem dois tipos de emergência, um com relação às partes, e outro com relação ao todo. As emergências com relação às partes são as propriedades individuais ou características que elas adquirem quando pertencentes a um sistema. Um elétron quando em órbita ao redor de um núcleo atômico é estável e não emite radiação (embora esteja sendo acelerado). Portanto ele adquire estabilidade contra emissão no átomo. As emergências com relação ao todo são a organização do sistema, sua unidade e as propriedades partilhadas pelas partes. Tais características definem o sistema como um complexo global, totalizante; das emergências do todo é que “emerge” a idéia de *sistema*, uma entidade única, individual e destacada do meio. Dessa forma, o todo, como se costuma dizer, é *maior* que a soma de suas partes. Esta é a máxima do holismo.

Uma característica importante da emergência é a sua não-dedutibilidade à partir do conhecimento das propriedades e tipo de funcionamento de seus precursores, ou seja, há um aspecto de novidade na emergência, um *surgir imprevisível*. Por isso a visão mecanicista de compreensão do todo através do conhecimento do funcionamento de suas partes é incompleta e muitas vezes errônea.

Geralmente o sistema formado também não apresenta algumas das propriedades existentes em seus precursores, assim, as partes *ganham* algumas propriedades novas e *perdem* outras. Dentro do sistema há um tipo de regulação dos constituintes, imposições que permitem que ele seja organizado e até mesmo viável. Assim, em seu interior, algumas propriedades particulares não podem manifestar-se e são suprimidas. Os prótons dentro do núcleo atômico estão a distâncias ínfimas uns dos outros; isto só é possível devido à força fraca, que supera a força de repulsão eletromagnética entre eles. Portanto, dentro do núcleo, a propriedade de repulsão entre prótons fica suprimida e, de certa forma, invisível. Isto permite que o núcleo seja estável e não se dissocie.

A globalidade sistêmica não só amplia, diversifica e inova como ela também restringe, impõem e regula. Portanto o sistema é *maior* e *menor* que a soma de suas partes, e as propriedades que irão surgir ou desaparecer dos constituintes quando eles forem reunidos são imprevisíveis.

A *conectividade* de um sistema diz respeito às interações entre seus constituintes. As interações podem ser positivas, isto é, agirem no sentido de unir o sistema, negativas, agindo no sentido contrário, ou indiferentes. É comum encontrarmos todos os tipos em um mesmo sistema, no entanto, se a intensidade das interações negativas for maior do que a intensidade das interações positivas, o sistema se quebrará. Se um sistema tem um alto grau de conectividade e coesão, então suas interações positivas são fortes, além de superarem as interações negativas. Se as interações positivas são fracas, embora superem as negativas, dizemos que o sistema é fracamente coeso. A coesão é um dos fatores que determinam a conectividade de um sistema.

A conectividade depende da natureza do sistema bem como do número de componentes que o compõem. Um sistema com um enorme número de componentes pode ter problemas de estabilidade e coesão e ainda vir a dismantelar-se em subsistemas. A partir de um determinado número de núcleons o núcleo atômico, por exemplo, começa a ficar instável e pode decair², por isso, não encontramos no universo átomos mais pesados do que um certo limite. Ao mesmo tempo, é geralmente necessário um número mínimo de componentes para o sistema se formar.

É comum a confusão entre os parâmetros conectividade e estrutura. O crescimento do número de conexões entre os elementos de um sistema aumenta a sua conectividade, entretanto esta pode aumentar devido a outros fatores. Para visualizarmos o sistema através deste parâmetro basta imaginarmos a estrutura sistêmica como uma rede de filamentos luminosos ligando suas partes. As conexões entre as partes geralmente possuem intensidades diferentes, umas são mais fortes do que as outras. Estas, em nosso exemplo, seriam vistas como filamentos mais brilhantes. Olhando para o sistema observaríamos um emaranhado de linhas luminosas formando um todo, e uma forma mais brilhante desenhada neste todo, uma figura com uma certa morfologia. Um sistema com um desenho esmaecido, apagado, quer dizer, com intensidades de conexões fracas,

² O alcance da força fraca é de 10^{-14} F. Portanto os núcleons que se localizam mais ou menos a essa distância do centro do núcleo estão pouco ligados e se tornam instáveis contra o decaimento.

pode ter uma grande estrutura, mas sua conectividade é baixa. A figura formada das conexões mais fortes define, muitas vezes, o funcionamento total do sistema, e figuras localizadas devem nos indicar a existência de subsistemas no todo. Algumas vezes o desenho pode se modificar paulatinamente, e esta modificação vai depender tanto de fatores externos como internos (ou de ambos).

Nas redes neurais o uso frequente de determinada conexão reforça esta conexão tornando-a mais forte. Ao longo do tempo certos “caminhos” dentro da rede se tornam mais prováveis, isto é, há uma maior tendência a percorrê-los. Podemos dizer então que ela tem capacidade de aprender na medida em que, ao se relacionar com o meio, ela se modifica, se modela de acordo com as informações dadas por esse meio. O cérebro humano funciona de maneira análoga.

A conectividade de um sistema depende portanto da quantidade bem como da qualidade das relações entre elementos sistêmicos.

Mais um conceito sobre as relações entre sistemas ou constituintes sistêmicos deve ser definido. As relações podem ser consideradas *internas* ou *externas* (Uyemov, 1975: 98). As *relações internas* são aquelas as quais, para que se modifique a relação, é necessário que se modifiquem os interagentes. Exemplos de relação interna são a diferença de idade entre duas pessoas, ou a diferença de sexo entre um homem e uma mulher, ou ainda a força gravitacional exercida entre dois corpos. As *relações externas* são relações que podem ser modificadas sem que os interagentes se alterem. A diferença de salários entre duas pessoas e a velocidade relativa de duas partículas são exemplos de relações externas.

Função

Em um sistema, as partes desempenham papéis, ou seja, exercem determinadas *funções*. De uma maneira geral as funções são emergências das partes ou subsistemas existentes. A função de um constituinte pode mudar de acordo com o meio onde ele se encontra. No cérebro, por

exemplo, os neurônios têm a função de coordenar o metabolismo do organismo e efetuar processos cognitivos. Já nos membros eles têm a função de transportar as ordens dadas pelo cérebro e os impulsos relativos à sensibilidade orgânica.

A função desempenhada depende também do tipo de constituinte. Para um sistema ter estabilidade, sua a funcionalidade total, ou seja, a soma das funções exercidas por suas partes, deve ser coerente com ele, deve agir de forma a garantir sua organização e sua coesão. Deve também agir no sentido de resguardá-lo das instabilidades do meio ambiente. A funcionalidade tem um caráter dinâmico na preservação do sistema. É ela o fator ativo que responde às flutuações externas e internas, que reage ao meio ou retroage sobre as partes na tentativa de reequilibrar o sistema. É ela portanto que define sua permanência, sua longevidade.

Integralidade

Um sistema é dito *organizado* quando possui subsistemas que se interrelacionam entre si. Se uma auto-reunião dá origem a um sistema que possui subsistemas que não existiam antes do processo, então este processo é chamado de auto-organização; nesta, ocorrem “sub-reuniões” localizadas onde os constituintes do futuro sistema interagem e se agrupam sem destruir, no entanto, o processo total de reunião.

O grau de organização de um sistema, ou sua *integralidade* (Denbigh, 1975:87), depende não só da quantidade de subsistemas que ele possui mas também da variedade destes³. É mais interessante para ele um grande número de subsistemas diferentes do que de subsistemas

³ Aqui vale esclarecer um ponto: *ordem* e *organização* têm significados diferentes. O grau de ordenação de algo define sua redundância ou grau de repetição em algum sentido. Já o grau de organização está ligado à variedade de seus constituintes. Uma célula, por exemplo é altamente organizada, no entanto é muito menos ordenada que um cristal. A redundância das cadeias moleculares dentro de um cristal é muito maior do que qualquer tipo de redundância dentro da célula.

redundantes, e quanto maior for o número de funções diversas exercidas pelos constituintes sistêmicos, mais organizado ele será. Entretanto, subsistemas com funções diversas muitas vezes são concorrentes entre si; além disso a autonomia dos subsistemas frequentemente é concorrente com o todo sistêmico, isto é, quando um subsistema se torna demasiadamente autônomo ele tende a isolar-se, a funcionar de acordo com si mesmo, e não mais em prol da globalidade da qual faz parte. Este comportamento desestabiliza o sistema levando a uma retroação sobre o subsistema anômalo; algumas vezes o sistema pode chegar a desestruturar-se como é o caso de metástase em pessoas com câncer.

O equilíbrio entre o máximo de variedade aliado à máxima conectividade é a chave para um sistema com alto grau de integralidade e de estabilidade. A grande variedade na composição aumenta a capacidade de resposta às flutuações externas e a coesão define quão estável ele será quando frente à uma crise, tanto interna quanto externa.

Evolução

Um parâmetro sistêmico fundamental descrito acima é o meio ambiente. Ele define duas características básicas do sistema em questão: a permanência, que, como dissemos, está associada ao grau de conectividade sistêmica, e a autonomia, ligada à capacidade do sistema em integrar as “informações” ou perturbações do meio ambiente de forma a se adequar a elas, elaborando-as e manipulando-as a fim de sobreviver.

A capacidade de adequar-se ao meio ambiente revela uma nova característica sistêmica: a evolução. Dos parâmetros apresentados são chamados parâmetros evolutivos: composição, conectividade, estrutura, integralidade, funcionalidade e organização. Veremos que tais parâmetros têm uma modificação gradual no universo à medida em que o estudamos ao longo do tempo através da teoria do Big Bang.

A permanência de todo sistema aberto está vinculada a três condições: sensibilidade ao meio ambiente (ou sua “abertura”); capacidade de internalizar informação e a capacidade de elaborar esta informação (fonte de toda evolução).

A complexidade, tema básico deste trabalho, é um parâmetro evolutivo livre, sendo definida por alguns como grau de organização ou integralidade (Denbigh, 1975). Seguindo a linha evolutiva traçada pela teoria do Big Bang descobriremos, no capítulo seguinte, como um Universo sistêmico parece ter evoluído até o estado de complexidade atual, tendo em vista a mediação, o diálogo entre meio ambiente e sistema, entre perturbação e permanência.

Capítulo II

UNIVERSO PRIMITIVO

Este capítulo baseia-se principalmente nos livros *A Mão Esquerda da Criação* de J. D. Barrow e J. Silk, *The Moment of Creation* de J. S. Trefil e no capítulo *The Early Universe* do livro *Cosmology: The Science of the universe* de E. R. Harrison. A teoria aqui apresentada é o chamado *modelo padrão* para evolução do universo.

Criação

Aparentemente o universo teve um início. As teorias cosmológicas confrontadas com os dados astrofísicos hoje existentes apontam para um começo onde toda a matéria estava condensada em um ponto. Esta teoria é denominada Big Bang, e tem maior aceitação entre os cosmólogos como um todo por responder a problemas como a origem da recessão das galáxias, a radiação de fundo, a escuridão da noite e a existência de átomos simples no universo. O primeiro e o último problemas descritos demandam, para que o universo seja estacionário, isto é, sem um princípio, uma teoria onde a matéria deveria ser criada continuamente. Tal entidade criadora seria um objeto facilmente observável para nós, mas não temos nenhum candidato astrofísico para este "progenitor universal".

Na teoria do Big Bang o começo de tudo foi uma *singularidade*, fenômeno que as leis físicas não explicam e onde o tempo não flui, um estado de absoluta ausência de formas, com densidade extremamente elevada e uma temperatura extraordinária. Desta singularidade surgiu tudo o que conhecemos, átomos, sóis, leis físicas, seres vivos e até mesmo o tempo. Sobre o que havia antes da explosão nada se pode dizer, assim como nada se pode dizer sobre a própria singularidade em si.

Se este foi mesmo o início do nosso universo, podemos afirmar que o cosmos mudou. Suas feições foram se modificando até chegar no universo atual. De um estado único, ausente de

formas, e portanto homogêneo e uniforme, evoluiu para um estado heterogêneo, variado, onde a diversidade de formas é abundante em todas as escalas, tanto no microcosmo como no macrocosmo, e onde surgiram estruturas intrincadas, com alto grau de organização e complexidade.

Mas como de um estado de caos completo emergiram entidades organizadas e organizadoras como as leis físicas e o tempo? No mínimo poderíamos dizer que estas eram potencialidades no momento da singularidade, mas, seu vir a ser é resultado de um princípio organizador inerente ou um produto do puro caos? Quero dizer, a ordem e a organização fazem parte de um princípio geral, uma espécie de programa universal que é cumprido *necessariamente* ou são resultado de eventos *aleatórios*? E se existe um programa universal, então, "isto implicaria que o estado atual do universo é em algum sentido predestinado"⁴? Seria toda a história deste mundo já escrita e finalizada no momento de seu nascimento? Ou como se diz muito hoje em dia, seria ela uma fabulosa dialética entre acaso e necessidade.

Creio que estas perguntas só podem ser respondidas (se é que existem respostas à elas) através de um estudo profundo da evolução dos constituintes deste universo ao longo de sua história, desde o Big Bang até o homem.

O Big Bang

O que havia antes da grande explosão do Big Bang ou mesmo antes da própria existência da singularidade primordial é assunto de mera especulação, assim como o que originou o universo, se uma flutuação quântica, um piparote divino ou uma fagulha perdida de um mundo em outra dimensão. Especulação porque não temos acesso a esses eventos, não conseguimos compreender algo não subsumido ao tempo, ou que não possua uma extensão espacial ou mesmo que não esteja submetido a nenhuma lei.

⁴ Paul Davies 1987: 2.

Os cosmólogos só conseguem explicar o universo quando este já tem 10^{-43} segundos de existência. Este é o chamado *instante de Planck*, momento no qual as interações fundamentais estão unificadas, isto é, possuem a mesma intensidade, e que é dado por:

$$t_p = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} = 1,33 \cdot 10^{-43} \text{ s}$$

onde G , h e c são as constantes fundamentais da gravitação, da interação quântica e da velocidade da luz. É a partir deste instante após o Big Bang que o universo se torna inteligível para nós, onde os cálculos teóricos são relativamente seguros, e quando as leis da natureza começam a emergir. Devido a esse fato muitos físicos chamam este instante de começo do universo.

Em nossa compreensão de senso comum, da nossa vida cotidiana, temos dificuldade de entender o que significa o estudo de um tempo de 10^{-43} segundos! O que pode significar algo que ocorra em um lapso de tempo tão ínfimo? Certamente pode parecer a muitos uma brincadeira, no entanto, é mesmo essa a ordem de grandeza do tempo de Planck. Muitos outros números estudados em física e particularmente em astronomia são surpreendentes.

Nos instantes imediatamente posteriores ao Big Bang, em instantes quase infinitamente pequenos, ocorreram vários processos fundamentais para a compreensão do cosmos atual. Surpreendentemente a maior parte dos *acontecimentos* cosmológicos que existiram até hoje ocorreram no primeiro segundo de existência do universo! É como se o tempo estivesse sendo desacelerado continuamente ao longo da expansão, e quando nos aproximamos do início dos tempos a rapidez da sucessão de eventos tendesse a infinito. Mas na verdade são as *escalas de tempo* dos eventos no primeiro minuto que são quase infinitamente pequenas. Tão pequenas quanto os acontecimentos descritos a seguir podem nos mostrar.

A Era dos Quarks

No instante de Planck o universo é um fluido onde a densidade é de 10^{96} vezes a densidade da água e a temperatura é 10^{32} K. As primeiras formas a surgirem no universo são dois tipos de partículas minúsculas e de baixíssima massa chamadas léptons e quarks, as partículas

intermediárias, isto é, as partículas que medeiam a interação entre léptons e quarks e destes entre si, e o quantum de luz, o fóton. São estes os primeiros existentes universais, as primeiras formas que emergem do fluido.

Será a partir da distinguibilidade das entidades emergentes que estas se tornam existentes, isto é, a criação se dá pela diferenciação de algo do todo. *A distinguibilidade de algo torna-o um existente*. Assim, fótons, léptons, quarks e mediadores são as primeiras entidades a se distinguirem do todo. Esta é a *composição* primeira do universo.

Podemos dizer nesse instante que já existe uma certa complexidade cósmica primitiva, uma complexidade composicional, advinda da diversidade de suas primeiras partículas, e também, com o surgimento de partículas começa a existir uma relação entre as partes emergentes do todo, uma conexão entre elas. Outra característica resultante da diversidade é a informação. Um universo com algum grau de heterogeneidade é mais informativo do que um universo homogêneo, destituído de formas, e quanto mais diverso o sistema, mais informativo ele é.

Essas partículas são continuamente criadas e aniquiladas do campo de energia num processo contínuo do oceano primitivo em alta temperatura. São criadas em pares de partícula e anti-partícula denominados *pares virtuais*; ao se chocarem, os elementos de um par virtual aniquilam-se mutuamente liberando energia.

As partículas existentes na era dos quarks são partículas que não possuem estrutura interna, ou seja, não são formadas por nenhum constituinte (ao menos conhecido até hoje), são *partículas elementares*.

Existem seis tipos de quarks e seis tipos de léptons (que quer dizer "leves"). O lépton mais conhecido é o elétron e sua anti-partícula foi denominada pósitron.

O instante de Planck, como dissemos, é o momento da grande unificação das forças fundamentais da natureza, quando as intensidades das interações fraca, forte, gravitacional e eletromagnética são iguais. No decorrer do tempo essas interações vão distinguindo-se umas das outras, vão surgindo como forças com características próprias. No tempo de Planck portanto, o tipo de *conexão* entre os constituintes universais era de uma só natureza, uma só qualidade.

Imediatamente após o instante de Planck a força gravitacional torna-se distinta das outras forças, ou seja, *surge* a gravidade. Esta é a força mais invulgar existente. Sua intensidade tornou-se bastante inferior às intensidades das outras forças (ver tabela1) o que traz muitas dificuldades teóricas para unificá-la aos outros tipos de interação.

Tabela1: Propriedades das Forças Fundamentais

Força	Intensidade (relativa)	Alcance (cm)
Forte	1	10^{-13}
Eletromagnética	1/137	infinito
Fraca	10^{-5}	10^{-15}
Gravitacional	6×10^{-39}	infinito

Tipos de interação e as partículas mediadoras

As partículas interagem entre si também através de outras partículas, chamadas *partículas intermediárias* ou *vetores* da interação. Cada tipo de força da natureza é mediado por uma espécie de partícula. A força é sentida quando este tipo de partícula é trocado entre as partículas interagentes. A interação entre elétrons e pósitrons e destes entre si, ou seja, a interação eletromagnética, é feita através da troca de fótons; a interação entre qualquer tipo de matéria, ou gravitacional, é feita através de grávitons (tabela2). A troca de glúons entre os quarks, por exemplo, mantém os núcleons unidos, assim como a troca de fótons entre prótons e elétrons mantém os átomos unidos. Quanto menor a massa do vetor de interação, maior o alcance da força correspondente; grávitons e fótons têm massa nula, portanto as forças eletromagnética e gravitacional são de alcance infinito.

Além disso as partículas têm atributos específicos; os elétrons possuem o atributo *carga* e os quarks, *carga e cor*. Existem dois tipos de cargas, as positivas e as negativas; as cargas de mesmo sinal se repelem enquanto que as cargas de sinais contrários se atraem. O mesmo ocorre com as cargas de cor, no entanto estas somam três tipos. À cada um desses atributos corresponde a um tipo de interação; a interação forte ocorre entre partículas que possuem carga de cor e a eletromagnética entre as partículas que possuem carga elétrica, a gravitacional entre as que possuem massa, etc.

Tabela2 - As quatro forças e suas partículas intermediárias

Força	Vetor	Carga Elétrica	Outras Características
Gravidade	gráviton	0	não observado
Fraca	bóson vetor	+1,-1,0	
Eletromagnética	fóton	0	
Forte (hadrons)	hadron	diversas	
Forte (glúons)	glúon	0	carga de cor

Liberdade Assintótica

Na física atual sabe-se que quarks não existem isoladamente. A força entre dois quarks é enorme e quando tentamos desatá-los, a energia que empregamos é tal que produz um novo par de quarks dessa energia, esses por sua vez se unem aos quarks originais e o nosso objetivo não é alcançado, não conseguimos obter um quark isolado. Portanto hoje é impossível isolar um quark. É como tentarmos isolar um pólo de um ímã cortando-o ao meio. Criamos outro par de pólos cada vez que o dividimos.

O fato de no universo primitivo os quarks comportarem-se como partículas livres era um grande mistério até surgir a teoria que trouxe o conceito de *liberdade assintótica*. O estado de liberdade assintótica é resultado de um fenômeno chamado *polarização do vácuo*. Esse fenômeno ocorre tanto com cargas elétricas como com cargas de cor.

Suponha que exista uma carga negativa no espaço. Devido à contínua criação de pares virtuais, essa carga atrairá os pósitrons e repelirá os elétrons que surgirem (figura1). Será formada uma nuvem de cargas positivas em torno da carga original, e esta será circundada por uma nuvem de cargas negativas; dizemos que o vácuo foi polarizado. Suponha agora que um elétron se aproxime desse sistema (figura2) e atravesse a barreira eletrônica. Ele sentirá o efeito atrativo da

aproxime desse sistema (figura2) e atravesse a barreira eletrônica. Ele sentirá o efeito atrativo da nuvem de pósitrons juntamente com a repulsão da carga original, assim, sua interação com essa carga é de menor intensidade do que se ela estivesse sozinha. Quanto mais energia cinética ele tiver, mais profundamente penetrará na nuvem, e portanto mais intensa será a repulsão entre o elétron e a carga original, ou seja, mais forte será a interação entre eles. Portanto, a interação entre as duas cargas é maior quanto maior é a energia.

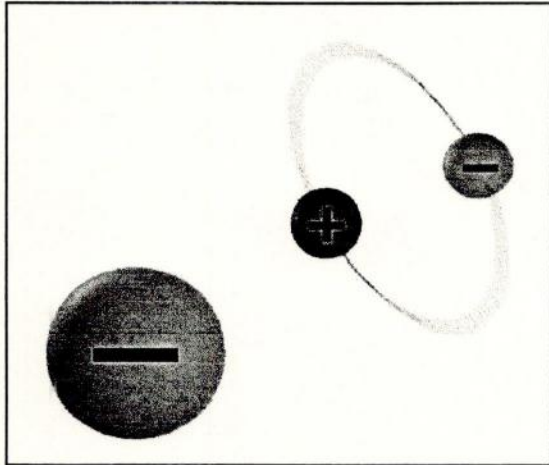


Fig 1- Par virtual próximo a uma carga

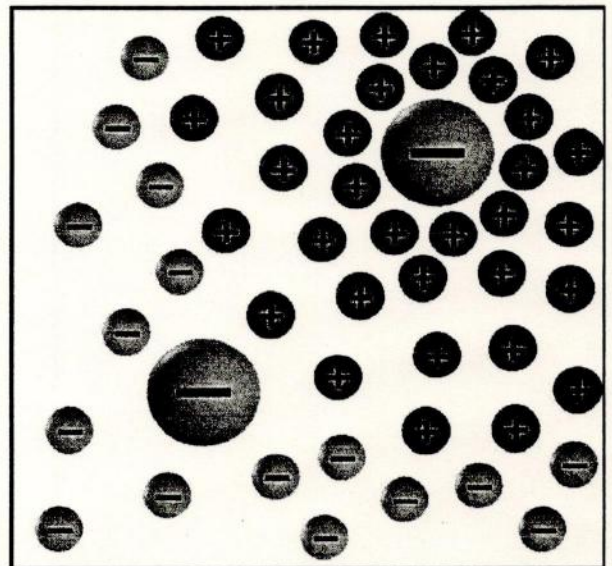


Fig.2 - Elétron próximo à carga negativa

Mas o vetor de interação entre cargas elétricas é o fóton, que possui carga nula. No caso dos quarks o vetor de interação é o glúon, que possui cor. Similarmente ao exemplo acima, quando é formada a nuvem de quarks virtuais em torno de um quark original, os glúons virtuais de mesma cor deste somam-se à nuvem de cor oposta mais próxima ao quark. Quando um quark de mesma cor que o original penetra na nuvem a alta velocidade, ele sente cada vez menos o efeito da carga original (figura3). Quanto mais próximo, menos ele irá sentir o efeito da carga.

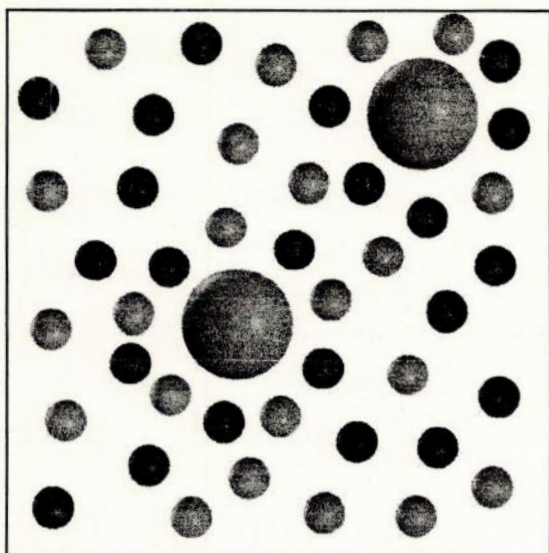


Fig.3 - Glúons de mesma cor se somam à nuvem de quarks virtuais em torno do quark original

Portanto, no caso dos quarks, quanto maior a energia, menor a força trocada entre os interagentes, e, na situação extrema dos primeiros segundos do universo, eles simplesmente não interagem entre si. Esse fenômeno foi denominado liberdade assintótica.

A Era dos Hadrons

A era sem estrutura e a formação dos primeiros sistemas

Imediatamente após o instante de Planck, portanto, existia um mar de partículas simples, sem estrutura interna, tão juntas umas das outras quanto um universo menor que um núcleon exige. O tamanho desse universo é de aproximadamente $10^{-43} \cdot c$, ou seja, menor que um próton ou um nêutron. Os quarks estão espremidos de forma tão compacta que não interagem entre si e agem como partículas livres no plasma primordial.

Quando o universo chega aos 10^{-35} segundos de idade a força forte começa a dissociar-se da força eletromagnética e da fraca que permaneceram indistintas. A emergência da interação forte faz com que os quarks passem a interagir e se unir em tripletos e pares formando novos tipos de partículas, os *hardrons*. Estas são as primeiras partículas com estrutura do universo, isto é, partículas compostas de outras partículas, são os primeiros *sistemas*.

Prótons e nêutrons são os hadrons mais conhecidos. A característica fundamental destes é a estabilidade, advinda da coesão entre os quarks e anti-quarks constituintes. É preciso esperar, *em média*, 10^{31} anos para que um próton do meio interestelar decaia. O universo tem apenas 15×10^9 anos. Essa espetacular estabilidade foi fundamental para que sistemas cada vez maiores surgissem. Serão eles os blocos básicos de toda a materialidade, os formadores de toda a solidez do cosmos.

Temos nesse instante uma complexidade cósmica primitiva um pouco mais refinada, não apenas em composição (esta já com partículas que podem ser caracterizadas com sistemas) mas também em conectividade, sendo três os tipos de interação entre as partículas: forte, gravitacional e eletrofraca.

Os bósons X

A simetria entre as forças forte e eletrofraca (como é denominada a união das forças fraca e eletromagnética) existia devido a uma partícula que contém carga elétrica e carga de cor. Esta partícula, chamada bóson X, possui a propriedade de, quando absorvida por um lépton transformá-lo em quark e vice-versa.

A energia necessária para criar um bóson X é cerca de 10^{15} vezes maior do que a energia necessária para criar um próton. Mas o campo gravitacional primitivo é tão intenso que, devido à matéria não ser totalmente homogeneamente distribuída, são criados fortes gradientes. A criação de partículas tem o efeito de diminuir esses gradientes e tornar o fluido ainda mais homogêneo.

Entre 10^{-43} e 10^{-35} segundos os bósons X e suas anti-partículas, foram criados em profusão. Com a diminuição gradativa da temperatura e da densidade do meio a produção dessas partículas foi diminuindo, até que cessou. Como os bósons X são instáveis, rapidamente eles decaíram em quarks e léptons e levantaram assim a simetria entre as interações forte e eletrofraca. Para nós essas duas interações são hoje distintas devido à baixíssima temperatura do universo atual. Em 10^{-30} segundos todos os bósons X já decaíram e a força forte surge como uma nova

interação da natureza. Este instante pode ser demarcado como o fim da era dos quarks e início da era dos hadrons. A partir de então não existirão mais quarks isolados.

A predileção do cosmos

Um dos maiores mistérios da cosmologia é a preferência universal pela matéria. Por argumentos de simetria fica claro que, nos processos de criação de partículas através de pares virtuais, quantidades exatamente iguais de matéria e anti-matéria teriam sido criadas. Qual a explicação para a ausência de anti-matéria observada hoje?

A predileção do universo pela matéria tem sua origem nos bósons X. Ao decaírem, partículas X e anti-X, violam a lei de conservação entre matéria e anti-matéria. São criados mais quarks que anti-quarks. Quando se chocam, as partículas simétricas produzem radiação; uma grande aniquilação de partículas ocorreu após o decaimento dos bósons X. À medida em que a temperatura abaixava a aniquilação de partículas foi superando a criação. Ao final da era dos hadrons quase toda a matéria e anti-matéria existentes tinham desaparecido.

A radiação liberada nessa época deu origem à radiação de fundo conhecida, e o excesso de quarks formado começou a se unir formando prótons e nêutrons. A razão entre a quantidade de fótons e a quantidade de prótons ou nêutrons hoje conhecida é de aproximadamente 10^9 . Isso quer dizer que, para cada *um bilhão e uma partícula*, existia *um bilhão* de anti-partículas. Quando as partículas se anularam com as anti-partículas, formaram um bilhão de fótons e sobrou ainda uma partícula. Essa diferença entre os dois tipos de matéria é responsável pelo universo que conhecemos, não fosse ela o mundo seria preenchido unicamente por radiação.

Esta preferência universal exprime um lado da realidade ao qual não estamos acostumados: a assimetria. Esta quebra da simetria matéria/anti-matéria é outra face fundamental da complexidade, sem ela a homogeneidade radiativa seria absoluta e hoje só existiriam fótons no universo e pares de partículas virtuais em contínuo surgimento e desaparecimento.

A dissociação da interação eletrofraca

As últimas forças a se distinguirem entre si foram a eletromagnética e a fraca. A quebra de simetria ocorre quando os bósons W e Z desaparecem. Esses dois tipos de bósons

desempenhavam para as interações fraca e eletromagnética o mesmo papel que os bósons X desempenhavam para as interações forte e eletrofraca. Como são um pouco menos massivos que as partículas X, só quando se passaram 10^{-11} segundos do Big Bang sua aniquilação começa a superar sua produção.

Com o surgimento das interações fraca e eletromagnética se estabelecem as quatro forças fundamentais da natureza (figura 4), que permanecerão imutáveis até os dias de hoje. Este surgimento trouxe propriedades emergentes às partículas, os atributos carga elétrica e carga de cor são características que não existiam antes. São propriedades consequentes do tipo de interação.

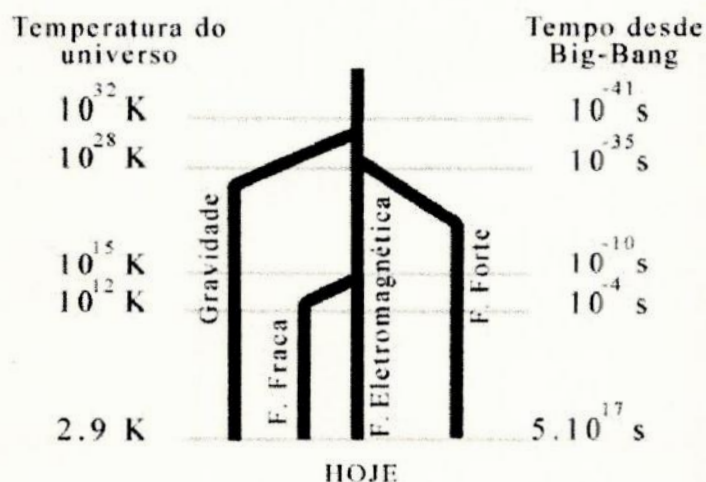


Fig.4 - Surgimento das forças fundamentais

O desacoplamento dos neutrinos

Pouco a pouco o cosmos esfriou e gradativamente partículas mais pesadas pararam de ser produzidas. Na era dos hadrons prótons e nêutrons são bastante produzidos e, devido à ligeira superioridade da massa do nêutron com relação à massa do próton ($m_p = 1.67226 \times 10^{-27}$ kg e $m_n = 1.67492 \times 10^{-27}$) eles são produzidos em menor número. No entanto a densidade e a temperatura são tão altas que reações de transmutação mediadas por neutrinos de prótons em nêutrons e vice-versa são muito freqüentes. Assim os neutrinos estão a todo o tempo sendo absorvidos ou emitidos, e há um equilíbrio entre o número de prótons e nêutrons.

Neutrinos são léptons e portanto possuem pouquíssima massa, quase não sofrem influência gravitacional. Além da interação gravitacional eles participam apenas da interação fraca. Isto é, quase não interagem.

Quando a densidade decresce e a temperatura atinge 10^{10} K as transmutações próton/nêutron e nêutron/próton cessam, nada mais impede os neutrinos de avançar livremente. Esses neutrinos formaram uma espécie de oceano que banha todo o universo, como a radiação de fundo. Formam também a fronteira do universo, as primeiras entidades a se desatarem do aglomerado de matéria formado a partir do Big Bang. A assimetria entre as produções de prótons e nêutrons lega uma assimetria composicional do universo de 2 nêutrons para 10 prótons.

Vemos nesses curtos acontecimentos dois tipos de processos universais: um que fragmenta, cria e discretiza e outro que uniformiza e equilibra. Os processos de homogeneização nessa época são incrivelmente eficazes, qualquer tipo de desequilíbrio gravitacional ou energético é rapidamente diluído, reequilibrado. Estruturas um pouco maiores, aumentos localizados de densidade, são desmanchados quase instantaneamente e a partir de um certo tamanho simplesmente inexistem. É um momento onde as formas existentes são da ordem de tamanho das partículas subatômicas, além disso uma estrutura global universal. E nada mais.

Léptons em abundância

A era leptônica é marcada pela grande quantidade de léptons que são produzidos. Ela se inicia quando o universo tem 10^{-4} segundos de existência. Como a temperatura é relativamente baixa os únicos pares virtuais produzidos são de partículas de pouca massa, ou seja, elétrons, pósitrons, neutrinos e anti-neutrinos. Existe no início dessa fase cerca de um bilhão de elétrons, um bilhão de fótons e um bilhão de neutrinos para cada núcleon, isto é, o número de fótons, elétrons e neutrinos é igual e eles formam um oceano dentro do qual os núcleons estão imersos.

Mais uma vez a queda da temperatura causa um decréscimo gradativo da produção de pares, dessa vez dos léptons, até que esta cessa quando o cosmos atinge a idade de 1 segundo. Uma enorme aniquilação de elétrons e pósitrons ocorre e consequentemente uma grande quantidade de energia é liberada.

A Era da Radiação

Entre 1 segundo e 300 mil anos o cosmos é dominado pela radiação. Sua densidade supera a de todas as outras entidades constituintes. No início dessa era a temperatura é de dez bilhões de graus e a densidade da radiação é de 10^5 gramas por cm^3 . Entretanto a densidade de matéria é ainda muito grande e fótons, elétrons e núcleons chocam-se continuamente. Em tal situação a luz não consegue transitar livremente, a todo instante fótons são espalhados pelos elétrons e ficam presos à matéria, sem conseguir se desvencilhar, como os neutrinos anteriormente devido à absorção por prótons e nêutrons. Diz-se que a luz está acoplada à matéria.

O universo comporta-se nessa era como um plasma ionizado (pois os elétrons ainda são energéticos demais para conseguirem se unir aos prótons) e em equilíbrio termodinâmico (a enorme agitação de fótons e partículas conserva este estado). O plasma forma uma única estrutura, um só sistema, que se encontra em expansão como um todo com sua densidade e temperatura diminuindo rapidamente.

Nucleossíntese Cósmica

Até aqui as entidades emergentes nesse universo com menos de um segundo de vida foram partículas. Mesmo os hadrons, que são sistemas compostos por quarks, são partículas. Se a evolução parasse por aí o cosmos seria constituído unicamente de partículas. O passo seguinte dado representou um salto de complexidade e uma maneira de não se estancar a evolução. Esse passo foi o surgimento do átomo.

Entre 10 e 500 segundos o universo se comporta como um grande reator nuclear produzindo núcleos de hélio, deutério e lítio. As condições de temperatura e densidade são tão específicas para que ocorra a combinação de núcleos de hidrogênio (prótons) com nêutrons formando deutério e depois hélio, que toda a nucleossíntese cósmica (ou seja, a formação de elementos através do choque de prótons com nêutrons no meio primordial) se desencadeou no lapso de poucos minutos.

No fim dessa era nuclear 75% da massa do universo termina na forma de hidrogênio, 25% em hélio, 10^{-3} em deutério e menos de um milionésimo por cento na forma de lítio. Esta percentagem variou pouco e, apesar de toda a nucleossíntese realizada pelas estrelas pode-se dizer que ela continua igual.

O Sistema Atômico

O átomo é o primeiro sistema organizado a surgir. Por organizado entendemos um sistema com algum grau de integralidade e estabilidade. Ele é formado por dois subsistemas: o núcleo e a camada de elétrons que orbitam esse núcleo (a existência de subsistemas dentro do átomo já é um fator de integralidade).

O núcleo atômico possui prótons e nêutrons confinados em um espaço da ordem de 10^{-14} m unidos pela força forte. A repulsão elétrica entre os prótons é superada por essa força e a estabilidade nuclear é atingida pelo incessante e rápido movimento dos núcleons no núcleo. O número de prótons no interior do átomo definirá o elemento químico em questão. O modelo mais usado hoje em dia para o núcleo se assemelha ao da camada eletrônica explicado mais adiante.

Alguns processos como fusão, fissão ou decaimento de núcleons no interior do núcleo podem descaracterizar o átomo (formando outro elemento), ou mesmo desmantelá-lo, mas são processos esporádicos ou realizados em condições (cósmicas) excepcionalmente específicas. Portanto os átomos são considerados sistemas estáveis.

Como já foi visto no capítulo 1, a localização de elétrons representa um problema na física. Para explicar seu movimento ao redor do núcleo atômico, ou mesmo livre de forças, diversos modelos foram construídos. O modelo mais rigoroso utilizado é o da função de onda de Schroedinger associada à partícula em questão. Esta onda está relacionada com a energia total da partícula, e portanto, no caso do elétron em um átomo, com a força atrativa à qual ele está submetido. Ela fornece a densidade de probabilidade de se encontrar a partícula em determinado instante em uma dada posição. Tridimensionalmente essa densidade de probabilidade pode ser visualizada como uma nuvem que envolve o núcleo com intensidade maior em determinadas regiões produzindo formas de acordo com a camada em questão. Nessas regiões a probabilidade de encontrarmos o elétron é maior. Essas nuvens são os chamados orbitais.

A compreensão acerca do sistema atômico mudou muito ao longo deste século. Basicamente todos os avanços na mecânica quântica surgiram a partir de tentativas de modelagem deste sistema. A complexidade dos resultados obtidos e a dificuldade em compreendê-los (os resultados quânticos desafiam nossa imaginação e nossa razão) mostrou que o átomo não é tão simples e nem tão primitivo quanto se imaginava.

Podemos dizer que o sistema atômico é um sistema complexo e organizado. Sua composição é diversificada (ele possui não apenas partículas diversas como subsistemas); sua conectividade interna se deve a dois tipos de interação: eletromagnética e forte (constituindo os dois subsistemas); a relação entre seus constituintes é intrincada e múltipla, e, ainda, geralmente é um sistema estável e coeso em seu interior.

O Fim da Era da Radiação

A radiação permanece acoplada à matéria até o universo completar 300 mil anos. Nenhum outro tipo de formação nucleossintética ocorreu após os 500 segundos e a composição microcósmica não mais se altera. Vale lembrar que até então não existiam átomos, apenas combinações de prótons e nêutrons que viriam a formá-los.

Ao final dos 300 mil anos a temperatura abaixa para alguns milhares de graus e a formação atômica se completa: os elétrons se unem aos núcleos formados no início dessa era dando origem às eletrosferas e ao sistema atômico. Esse processo retira do meio uma enorme quantidade de elétrons. Quando todos os elétrons se combinaram à algum núcleo o espalhamento de fótons cessa, a radiação desacopla-se da matéria e segue livremente. A partir de então essa radiação formará o fundo de microondas que permeia todo o universo. Esse evento marca o fim da era da radiação e o início da fase fria e transparente do cosmos.

Ao sair da era da radiação podemos dizer que a estrutura do megacosmos é constituída por três fases: a fronteira de neutrinos, a fronteira radiativa, e por fim o aglomerado de átomos e partículas sobreviventes dos processos primordiais. A interconexão entre as fases dessa estrutura a partir do fim da era da radiação é muito pequena e não interferirá mais nos processos evolutivos. Podemos encarar o megacosmos em suas fases como um sistema fracamente coeso ou interagente.

A Formação das Galáxias

Até aqui vimos uma escalada evolutiva do cosmos apenas no nível microscópico. O microcosmos discretizou-se, formou partículas elementares, depois partículas compostas, e finalmente o átomo. A estrutura em escalas maiores, como vimos, não teve uma mudança muito significativa. Se o aglomerado de átomos seguisse expandindo indefinidamente, a densidade e a temperatura diminuiriam continuamente e o cosmos caminharia lentamente para uma morte fria e rarefeita e toda a composição não passaria de átomos de hidrogênio, hélio, deutério e lítio. O microcosmos estanca seu processo evolutivo nessa fase. É a partir do megacosmos que o próximo passo na evolução se dá, passo este que permitirá a continuação da evolução no microcosmos...

Gênese Galática

Com o desacoplamento da radiação um novo movimento começa a se manifestar, a fragmentação do megacosmos. Será esta fragmentação que formará as estruturas em larga-escala que conhecemos, dos superaglomerados de galáxias às pequenas galáxias anãs.

Um dos grandes problemas em cosmologia é explicar o surgimento das galáxias. Acredita-se que seu nascimento tenha sido recente, isto é, quando o universo já completara 1 bilhão de anos. No entanto, a origem das estruturas que formaram as galáxias remonta ao primeiro segundo do universo. É necessário, para que se formem mega-estruturas no cosmos, a existência de flutuações, irregularidades no início dos tempos.

Como dissemos anteriormente, o universo primitivo comporta-se como um sistema dissipativo, isto é, distúrbios locais são imediatamente suavizados e desaparecem rapidamente. Flutuações de densidade são comuns nessa época, surgem regiões onde a densidade de matéria é maior do que a do meio, no entanto, tais estruturas não têm muita durabilidade. Calcula-se que a razão da densidade dessas regiões para o meio devia ser de 0,01% (flutuações de maior magnitude não eram permitidas pelo meio). Se a dissipação do ambiente era tão eficiente como tais estruturas sobreviveram e se amplificaram?

O período de confinamento dos quarks, ou o período de dissociação entre as forças eletrofraca e forte, e decaimento dos bósons X , é um período onde há uma grande liberação de energia. Esse período, denominado *inflação*, pode ser visto como uma transição de fase (como a transição de sólido para líquido) onde o universo passou de um estado de maior energia para outro de menor, e essa transição liberou uma enorme quantidade de energia. A grande quantidade de energia livre fez com que o universo acelerasse sua velocidade de expansão e expandisse de forma exponencial (seu tamanho hoje em dia é tão grande devido a essa fase).

O período inflacionário resultou, além do crescimento do volume espacial como um todo, numa amplificação das flutuações já existentes. A agitação termodinâmica após a inflação desmanchou a maior parte das estruturas formadas, mas, a partir de um determinado tamanho, essas estruturas sobreviveram e formaram bolhas em torno das quais a matéria começa a se

condensar. Portanto a sobrevivência e amplificação das pequenas flutuações primitivas se devem à inflação.

Quando o universo se torna transparente, a matéria existente em torno das bolhas começa a colapsar e a se fragmentar formando as estruturas que iriam consistir nos aglomerados de galáxias. Esses por sua vez passaram por outra fase de fragmentação interna e formaram as galáxias. Alguns dos fragmentos eram pequenos demais e deram origem às galáxias anãs que orbitam as galáxias de grande porte.

As galáxias são sistemas que podem apresentar formas bastante regulares, como elipsóides ou mesmo esferas, como estruturas completamente irregulares e disformes. São formadas de nuvens de poeira e gás, aproximadamente 100 bilhões de estrelas e enormes vazios. Algumas vezes apresentam subsistemas como braços espiralados (galáxias espirais e barradas) e lóbulos centrais. O confinamento da matéria no interior galáctico e sua dinâmica (as galáxias giram em torno do próprio eixo) darão as condições propícias para a condensação de estrelas.

É importante notar que originalmente as galáxias eram constituídas apenas de gás, pois a poeira, formada de pequenos grãos sólidos, poderá ser formada apenas após a ejeção de material estelar no meio galáctico. Além disso um novo sistema surgiu entre o fim da era da radiação e a formação das galáxias, o sistema molecular.

O sistema atômico é um sistema com alta conectividade; dois ou mais átomos se acoplam pela partilha de um, ou alguns elétrons formando um sistema estável em determinadas condições de temperatura, a molécula. As primeiras moléculas a existirem deram origem às nuvens primárias de gases das galáxias, os primeiros berçários estelares.

A Gênese Estelar e a Divergência da Complexidade

O colapso gravitacional não termina com as galáxias, dentro destas ele continua, e forma nuvens de gás de baixa densidade. O colapso gravitacional de uma ou várias nuvens de gás pode

dar origem a uma estrela. Um dos processos de formação acontece quando duas dessas nuvens colidem, a estrutura como um todo se torna instável e colapsa formando um novo tipo de sistema: a estrela.

O tamanho de uma estrela está sempre no limiar entre a quebra da estrutura nebular pela gravidade (colapso) e a dissipação pela pressão de radiação. A sustentação básica de sua estrutura se dá por um fenômeno de importantes consequências evolutivas: a fusão. O processo de fusão no interior estelar libera a energia necessária para que a estrela sustente seu próprio peso, e se dá em etapas: a estrela inicia sua “vida” quando começa a fundir hidrogênio em hélio¹. Quando o hidrogênio termina em seu núcleo ela passa a queimar o hélio formando carbono, e assim sucessivamente para núcleos cada vez mais pesados até o ferro. Os elementos mais pesados que o ferro são produzidos em períodos explosivos da vida das estrelas, as supernovas. Todos os elementos diferentes daqueles produzidos no processo de nucleossíntese cósmica (exceto os sintéticos) foram formados no interior de estrelas ou em supernovas.

O sistema estelar propicia uma continuidade no processo de evolução do microcosmos. O caráter explosivo de algumas delas contamina o meio galático de diversos elementos. A diversidade de elementos produzidos nas estrelas é enorme e causa uma divergência na complexidade do nível intermediário (macrocosmo), em estrelas e planetas. Essa diversidade será responsável por toda a infinidade de estruturas que conhecemos hoje nos planetas. A alta conectividade de alguns dos elementos, principalmente do carbono, gera moléculas grandes e complexas. E essas cadeias de carbono serão a base de toda a vida na Terra.

Observamos até aqui dois movimentos evolutivos, o primeiro à partir da discretização e diversificação do microcosmo e outro a partir da fragmentação e condensação do megacosmo. A união desses dois movimentos disparou a evolução da interface, o macrocosmo (ver figura 5). Vimos assim uma complementariedade dos movimentos nos diferentes níveis, uma sucessão de ciclos que se acoplaram e se refinaram mutuamente, ciclos esses que continuam em andamento por todo o universo.

¹ Para muitos autores uma estrela já pode ser definida como tal à partir do momento em que começa a queimar hidrogênio em seu núcleo.

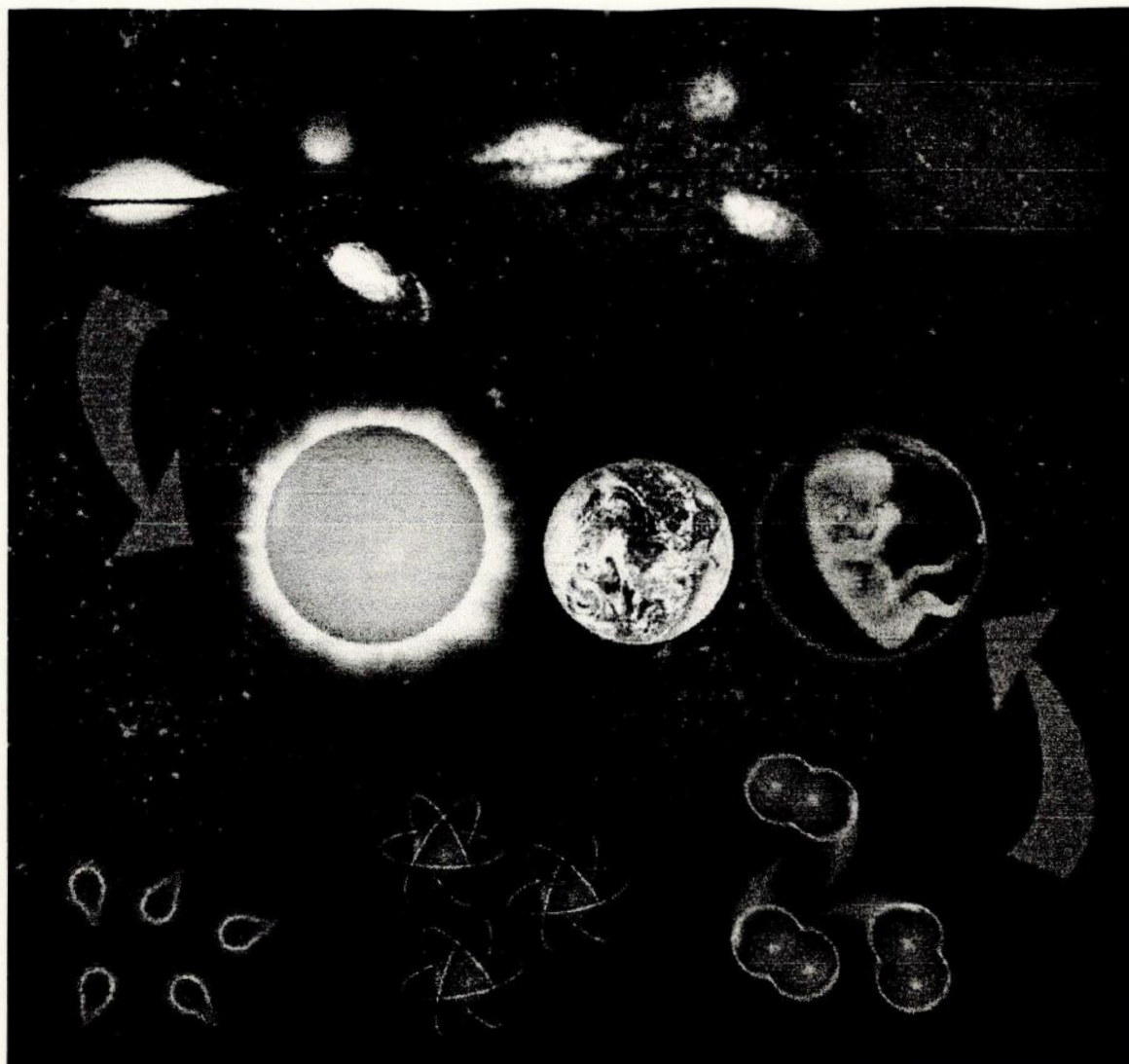


Fig. 5 - Evolução do micro e do megacosmo resultando na evolução do macrocosmo

Neste capítulo discutimos a direção de complexificação da composição mais sólida do cosmo, das partículas às estrelas, planetas e moléculas. Acompanhamos a evolução desses sistemas em todas as escalas enfocando a sucessão das estruturas, o crescimento em níveis progressivos dessas entidades. Nosso enfoque agora passará para os processos que *geram* organização e complexidade. Veremos não só que a matéria se organiza como também os processos, em fenômenos auto-evolutivos, auto-organizacionais.

Capítulo III

ENTROPIA E ORGANIZAÇÃO

O capítulo anterior foi significativamente delineado através de uma hierarquia crescente de estruturas no universo, onde estas superpunham-se umas às outras originando formas materiais cada vez maiores e mais complexas de acordo com as leis que regem as interações físicas. Poderíamos continuar neste terceiro capítulo a mesma linha de raciocínio seguida no segundo, e esta foi realmente a tendência da ciência nesses últimos três séculos.

No entanto, o que observamos no cosmos não é uma direcionalidade linear da complexidade. Se a nossa noção de complexidade de um sistema envolver não apenas sua organização interna mas também o seu comportamento geral, podemos observar sistemas simples em todos os parâmetros sistêmicos já estudados mas com comportamentos altamente complexos².

Além disso não podemos explicar a gênese e o funcionamento de determinados sistemas organizados apenas pela análise das interações fundamentais entre seus constituintes. Complexidade e organização não são simplesmente sinônimo de superposição sistêmica ou estrutural, envolvem comportamentos intrincados, mecanismos de regulação, variedade de subsistemas e de funções, e capacidade de adequação ao meio para que o sistema sobreviva.

Daremos aqui um salto, passaremos dos objetos aos processos, da evolução dos sistemas à complexificação dos mecanismos evolutivos. Serão eles os responsáveis pelo surgimento das entidades mais complicadas, de maior grau de integralidade e organização.

²Um dos sistemas mais simples que pode existir é o sistema de três corpos. No entanto, no início deste século, Poincaré demonstrou que esse sistema não possui uma solução, isto é, não se pode calcular as trajetórias dos três corpos, dadas as condições iniciais, com precisão absoluta. Essa impossibilidade deve-se à ocorrência de ressonâncias no espaço de fases do sistema, isto é, no espaço que descreve o sistema em termos de suas posições e de seus momentos.

Trabalharemos nesta parte baseados principalmente em textos de Prigogine e Stengers (1984, 1988), Mende (1981), Atlan (1992) e Morin (1986).

A Descoberta da Entropia

A ciência, até muito recentemente, teve como fundamento filosófico básico o determinismo. Todo cientista acredita que seu trabalho acessa de alguma forma a realidade, entretanto, a crença de que essa realidade é completamente dada ao conhecimento, de que toda a história do cosmos foi escrita unicamente pela gramática determinística das leis físicas, já assume um papel mais radical em termos da ontologia dessa realidade. Será a realidade *em si* determinística?

A consequência direta dessa visão determinística é um universo predestinado, um mundo cuja história está finalizada desde o começo e onde o poder criativo, o acaso, não existem. A existência e o tempo seriam o desenrolar de uma fita cujo filme já foi produzido.

No entanto, esta visão clássica, marcadamente resultante do sucesso da dinâmica nos séculos XVIII e XIX, começou a ruir com o estudo do calor e dos processos termodinâmicos, e com uma descoberta inesperada: a entropia.

Das Máquinas Térmicas à Entropia

A noção de entropia surgiu no século passado à partir dos estudos das máquinas térmicas e de seu rendimento. A perda de rendimento dessas máquinas era associada a choques bruscos, fricções e mudanças rápidas de temperatura.

Sadi Carnot, em 1824, idealizou um ciclo termodinâmico no qual as variações seriam conservativas e as mudanças bruscas de temperatura seriam eliminadas, isto é, um processo onde não haveriam perdas energéticas. A energia usada para produzir um certo trabalho mecânico

poderia ser restituída ao se colocar a máquina para funcionar ao contrário, realizando-se o mesmo trabalho sobre a máquina. Esta conversão recíproca de calor em trabalho e vice-versa é a própria base da termodinâmica.

No entanto, a passagem da teoria à tecnologia revelou um fato incontornável: em todo processo de conversão termodinâmica havia uma perda na capacidade da máquina de realizar trabalho, uma perda de rendimento. A conversão do calor em trabalho não é total, uma parte desse calor é sempre perdida irreversivelmente no processo.

O enunciado da segunda lei da termodinâmica diz que existe uma função S , denominada entropia, tal que sua variação dentro de um sistema, quando este absorve uma quantidade de calor dQ , é dada por:

$$dS = dQ / T \quad (1)$$

onde T é a temperatura absoluta do sistema durante o processo. Clausius generalizou essa formulação através da equação:

$$S_{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dQ}{T} + S_{t_1} \quad (2)$$

onde os valores S da entropia são dados para cada instante respectivo de tempo. Observa-se que a entropia no instante desejado é referente à entropia em um instante anterior. Assim, ela reflete o fluxo de calor dissipado por um sistema, a incapacidade de se reconduzir à fonte todo o calor por ela desprendido.

A variação de entropia, dS , no interior de um sistema, depende de dois fatores: as trocas de energia ou massa com o meio determinam uma variação na entropia, dS_e , que independe do tempo mas depende do sentido das trocas com esse meio; o outro fator depende da variação interna de entropia, dS_i , que é uma função sempre crescente no tempo (ou nula quando se atinge o equilíbrio). Portanto a variação total de entropia do sistema é dada por:

$$dS = dS_e + dS_i \quad (3)$$

Cláuisius, em 1865, atesta que a entropia S de um sistema isolado ($dS_e = 0$), ou seja, de um sistema onde não há fluxos trocados com o meio, é sempre crescente ou possui um valor constante. A variação de entropia em tal sistema possui apenas o fator de produção interna, sendo $dS = dS_i$. Portanto, a entropia de um sistema isolado cresce até chegar a um valor máximo, $S_{\max}$. Se o sistema permanecer isolado, isto é, $dQ = 0$, sua entropia permanecerá constante indefinidamente (ver equação 2) caracterizando este processo como irreversível, de forma que espontaneamente o sistema jamais sairá de seu estado de máxima entropia. Os sistemas que atingem esse estado são chamados sistemas em equilíbrio.

Similarmente, um sistema sujeito a um influxo incessante de massa ou energia pode chegar a um estado no qual a produção de entropia é mínima ou mesmo nula. No último caso teremos $dS_e = -dS_i$ (estado estacionário) no qual a entropia total é mantida constante.

Dessa forma, naquela época, a entropia estava diretamente relacionada à perda de rendimento, de capacidade para se realizar trabalho, e sendo essa perda uma propriedade geral das conversões energéticas de caráter irreversível, proclamou-se um destino trágico a todos os processos físicos, e portanto ao universo: a degradação irremediável da energia, a homogeneização de qualquer dissimetria térmica e portanto a dispersão de qualquer diferença que pudesse realizar trabalho. O universo tenderia a uma morte térmica, a um esfriamento gradativo e definitivo.

Vale ressaltar o aspecto novo associado a todo processo termodinâmico: a irreversibilidade. Esse aspecto era contrário à noção vigente de que os fenômenos físicos eram reversíveis, e definia uma direcionalidade do tempo, uma flecha do tempo.

A Termodinâmica de Boltzmann

No final do século passado, Boltzmann, através do emprego da teoria da probabilidade, articulou a termodinâmica às leis do movimento. Seu interesse era explicar a entropia, fenômeno macroscópico, em termos dos movimentos dinâmicos das moléculas em um gás. Para tanto ele fez uso da estatística na descrição dos fenômenos microscópicos.

Suponha que se deseje colocar partículas em duas caixas interligadas. A disposição delas nas caixas será aleatória, isto é, podemos ter várias partículas em uma caixa e poucas em outra, ou mesmo nenhuma, um número igual em cada uma, etc. O *número de complexões* (termo utilizado pelo próprio Boltzmann), ou seja, o número de disposições possíveis das partículas nas caixas, depende do número total N de partículas, e é sempre maior para uma disposição tal que o número de partículas em cada caixa seja próximo a $N/2$. Boltzmann observou que para um gás, onde cada mol corresponde a um total de 10^{23} partículas, em movimento incessante, a probabilidade de que se encontre uma disposição com números de partículas próximos a $N/2$ em cada caixa é enorme, enquanto a probabilidade de se encontrar disposições significativamente assimétricas é praticamente nula.

Ele concluiu então que a entropia seria uma tendência do sistema em evoluir para o estado de maior probabilidade, sendo esse estado correspondente à maior homogeneidade do gás, à ausência de dissimetrias, à maior desordem. Segundo sua interpretação, após algum tempo o sistema teria “esquecido” sua situação original, gradientes de temperatura e de massa seriam fenômenos pertencentes a um passado perdido.

Portanto, os estados microscópicos termodinâmicos do sistema tenderiam a atraí-lo para um macroestado em equilíbrio dadas suas condições de contorno. Tendo atingido esse macroestado, correspondente à máxima desordem, o sistema flutuaria ligeiramente em torno do equilíbrio. Segundo o *Princípio de Ordem de Boltzmann*, o estado de equilíbrio (ou de maior probabilidade) é o estado no qual todas as flutuações que ocorrem dentro do sistema “compensam estatisticamente seus efeitos”³. A irreversibilidade entrópica teria, assim, um caráter estatisticamente mais provável do que a reversibilidade, sem adquirir, no entanto, o status de uma lei da natureza (na visão clássica), de um fato inerente aos acontecimentos físicos.

Além disso, segundo essa visão, os processos termodinâmicos seriam determinísticos, isto é, dadas as posições e as velocidades das moléculas de um gás em um instante, poderia-se calcular o estado do sistema em qualquer outro instante de tempo. No entanto, a enorme quantidade de partículas envolvidas tornariam os cálculos impossíveis. Somente entes oniscientes, como o

³ Prigogine, (1984: 100).

demônio de Laplace, seriam capazes de calcular as trajetórias de todas as partículas de um sistema termodinâmico a partir de uma condição inicial.

Dessa forma, a impossibilidade de determinação da evolução dos sistemas seria decorrente da limitação do conhecimento humano, e não de uma indeterminação intrínseca às evoluções. Portanto, Boltzmann herda da física clássica a visão de uma natureza regida por leis determinísticas onde se processam fenômenos reversíveis no tempo.

Questionamentos sobre a Interpretação de Boltzmann

Duas objeções à interpretação entrópica de Boltzmann acarretaram em seu abandono. A primeira foi o teorema “da recorrência” de Poincaré, segundo o qual qualquer sistema dinâmico, após um tempo suficientemente grande passará perto de sua posição inicial. A segunda dizia que se invertemos as velocidades das partículas de um sistema dinâmico, elas traçariam as mesmas trajetórias percorridas de forma inversa, voltando às suas posições iniciais no espaço de fases. Em ambos os casos a irreversibilidade do processo seria apenas aparente e contornável, de forma que se “rodássemos o filme ao contrário” obteríamos a condição inicial.

Algumas descobertas recentes refutaram as objeções feitas à Boltzmann. Certos sistemas, denominados sistemas caóticos, possuem um comportamento peculiar e imprevisível dadas as condições iniciais. Para posições espacialmente próximas esses sistemas evoluem em trajetórias que *divergem exponencialmente* uma das outras, proporcionalmente a uma função $e^{1/\tau}$, onde τ é conhecido como tempo de Lyapunov. Qualquer incerteza na posição inicial de tal sistema leva a resultados completamente diferentes; como as medidas das posições têm sempre algum grau de incerteza, as trajetórias calculadas, após um tempo longo relativamente a τ , já não descrevem mais o sistema. Esse tempo característico dos sistemas caóticos define um horizonte temporal além do qual as condições iniciais já não têm pertinência na descrição evolutiva do sistema. O tempo de Poincaré é muito maior do que o tempo de Lyapunov, assim, a passagem próxima à posição inicial não tem mais sentido.

O uso de computadores permitiu um estudo efetivo do problema gerado pela reversão das velocidades. Originalmente Boltzmann fez seus cálculos probabilísticos da evolução de sistemas dinâmicos através de uma função, H , tal que:

$$H = \int f \log f dv$$

onde f é a função de distribuição das velocidades v . Ele observou que essa função era sempre decrescente no tempo em um sistema isolado e associou-a à entropia através da relação: $S = -kH$ (onde k é uma constante de proporcionalidade). Pela segunda objeção levantada à interpretação boltzmanniana, o sistema deveria apresentar, após a inversão das velocidades, uma função H sempre crescente na direção das condições iniciais, descrevendo o processo no sentido inverso. Na simulação computacional demonstrou-se realmente que à partir da inversão das velocidades a função H cresce ao longo do tempo, chegando a um valor próximo ao original, voltando a decrecer em seguida. No entanto, quanto maior o número de colisões entre as partículas do sistema anterior à inversão, mais longe de seu valor inicial a função H começa a decrescer (no caso ideal ela deveria retornar ao seu valor inicial). Portanto, quanto maior o número de colisões antes da inversão, maior o “esquecimento” do sistema sobre sua condição original, e mais difícil levar o sistema, através dessa inversão, ao seu estado inicial.

A colisão entre duas partículas cria uma “correlação” entre elas. A sucessão aleatória de colisões faz com que a partícula esqueça gradativamente as correlações passadas criando um estado de múltiplas correlações incoerentes. O fluxo de correlações define assim um devir irreversível e de caráter não determinístico, onde a evolução é espontânea, criativa. De uma maneira mais simples podemos dizer que cada colisão traz à trajetória calculada da partícula, um grau de incerteza. O cálculo desta trajetória é tanto mais incerto quanto mais tempo passar e mais vezes a partícula colidir com outras, portanto a determinação feita perde valor com o tempo.

Como vimos a entropia expressa o caráter irreversível e fundamentalmente não determinístico dos fenômenos físicos. Além disso, segundo os estudos termodinâmicos, ela leva o universo irremediavelmente a um estado de maior desordem, homogeneidade, e ausência de dissimetrias. Se a entropia é uma lei universal, como explicar a evolução do cosmos de um estado informe, homogêneo e único a um estado multi-variado, abundante de formas de níveis crescentes de organização? Não deveria ela ter mantido o universo primordial em seu estado de caos e uniformidade? Como se formaram, a partir desse estado, sistemas organizados como as estrelas e os seres vivos?

Trata-se agora de compreender como, apesar da segunda lei da termodinâmica, o cosmos se diversificou e se complexificou, como e porque, apesar da indiferença e aridez do meio ambiente, seres e estruturas organizadas surgiram e, sobretudo, *permaneceram*.

Sistemas Simples

Muitos sistemas existentes na natureza são formados pela dinâmica descrita pelo Princípio de Ordem de Boltzmann, isto é, o sistema evolui para o estado atrativo⁴ dado pelas condições aos limites, chegando a um regime de funcionamento no qual as flutuações o levam a oscilar levemente em torno do estado mais provável. Essa condição, como vimos, é a condição de um sistema em equilíbrio ($dS_i = 0$), correspondente ao estado de máxima entropia. Sistemas como os cristais e a maior parte dos sólidos são formados dessa maneira.

O regime de equilíbrio explica o surgimento e o funcionamento de sistemas ordenados. A formação de tais sistemas pode ser presumida e sua estrutura pode ser descrita a partir das

⁴ Estamos adotando aqui a tradução feita de "La Nouvelle Alliance", de Prigogine e Stenger, pela Ed. UNB. Não é claro, nesta tradução, se o termo utilizado refere-se à "atrator" como definido na Física de Caos Determinístico.

interações entre seus constituintes. A estrutura cristalina por exemplo apresenta uma conformação geométrica onde a distância entre os átomos e moléculas é da ordem de alcance da força entre esses átomos e moléculas, e sua posição em torno de seu ponto de equilíbrio devido a flutuações internas e externas varia muito pouco. Assim não podemos esperar que esses sistemas apresentem um comportamento macroscópico ativo pois as flutuações e dissimetrias microscópicas são compensadas e rapidamente dissipadas. São necessariamente sistemas inertes a nível global após alcançarem seu estado de equilíbrio. E por essas razões diz-se que o sistema esqueceu seu estado inicial, ou seja, ele evoluiu de forma irreversível.

Como vimos o sistema pode atingir também um estado estacionário deslocado do equilíbrio no qual a produção de entropia é mínima. Esse estado, para ser mantido, necessita de trocas com o meio, a fim de que se compense a produção interna de entropia. O sistema evolui conforme os influxos aos quais está submetido até atingir um estado estável no qual sua entropia seja mantida constante, $dS_e = -dS_i$, ou, $dS = 0$. A evolução aqui também é irreversível e há um “esquecimento” das condições iniciais.

Similarmente ao estado de equilíbrio, o estado estacionário é um estado pouco ativo, onde o sistema atinge a menor taxa de atividade compatível com suas condições aos limites. Além disso, neste caso, também pode-se prever para que regime de funcionamento o sistema irá evoluir, isto é, podemos definir *a priori* um estado atrativo.

Mas a natureza é rica em sistemas ativos, sistemas que produzem energia, entropia e informação. Esses sistemas não podem ser descritos por meio dos estados “inertes” citados acima, estados que podem ser modelados por equações lineares, e que fazem parte portanto da Termodinâmica Linear. A organização ativa reage ao meio e reage também à sua própria atividade. É auto-reguladora, auto-inibidora, e portanto, essencialmente não-linear.

Para Além da Estabilidade

Um sistema está sempre sujeito às flutuações do meio onde se encontra. Se alguma dessas flutuações ultrapassar um dado limiar crítico do sistema ele poderá evoluir para um regime de funcionamento qualitativamente diferente daquele característico do estado estacionário ou de

equilíbrio. A grande mudança neste contexto é a impossibilidade de se deduzir *à priori* o estado para o qual o sistema irá evoluir. Algumas vezes ele alcança estados estáveis, outras, ele adquire um comportamento caótico.

Os pontos a partir dos quais o sistema atinge um novo tipo de comportamento são chamados *pontos de bifurcação*. Além destes pontos muitos estados são possíveis. O sistema pode passar por vários desses pontos até alcançar um estado atrativo. Quando um sistema entra em crise, isto é, quando sua funcionalidade interna, logo sua organização, é ameaçada por uma flutuação, ele pode variar erratically por diversos estados sem se estabilizar. Toda essa evolução é indedutível, cada ponto de bifurcação que o sistema ultrapassa representa uma incógnita sobre seu comportamento seguinte. Quando não existir um estado atrativo, “ele poderá (...) atingir um regime caótico em que sua atividade pode ser definida como o inverso da desordem indiferente que reina no equilíbrio: nenhuma estabilidade garante mais a pertinência de uma descrição macroscópica, todos os possíveis se atualizam, coexistem e interferem, o sistema é ‘ao mesmo tempo’ tudo o que pode ser”⁵.

Quando representamos a evolução de um sistema sujeito a dissipação no espaço de fases observamos a existência de um lugar geométrico para o qual ele tende. Um pêndulo, seja lá qual for sua condição inicial, tenderá sempre para o ponto que representa sua posição mais baixa e seu momento nulo. Tal estado é denominado *atrator*. Os atratores podem ser pontos, curvas, ou mesmo figuras fechadas para os quais os sistemas tendem independentemente de seus estados iniciais. No caso dos sistemas caóticos a evolução no espaço de fase apresenta uma figura singular. Esta figura tem a propriedade de repetir as mesmas formas em diferentes escalas, isto é, quando ampliamos uma de suas partes encontramos o mesmo padrão gráfico da escala não-ampliada. Tais atratores são chamados *atratores estranhos* ou *fractais*, e são caracterizados por possuírem dimensão não inteira.

⁵ Prigogine (68, 1988):

Estabilidade e Auto-Organização

Para alguns sistemas os estados estáveis adquiridos são regimes caracterizados por uma grande produção de entropia, por trocas intensas com o meio. Há um “desperdício”, uma dissipação de massa ou/e energia, por isso, esses sistemas foram denominados *estruturas dissipativas*. A formação dessas estruturas se dá pelo aparecimento de uma flutuação microscópica que se amplifica até invadir todo o sistema levando-o a um comportamento já não mais referente às interações entre seus constituintes mas à sua totalidade. Pode-se dizer em geral que é um processo auto-organizador, pelo qual se forma uma nova estrutura global, uma nova funcionalidade.

Uma estrela é o exemplo mais extremo de estrutura dissipativa. Toda a sua massa é sustentada pela pressão radiativa liberada por reações termonucleares produzidas em seu interior. A sua conformação estrutural interna é mantida às custas de um profuso despejo de radiação no meio interestelar, de uma situação notável de não-equilíbrio. Os limiares críticos envolvidos são de densidade e de temperatura.

É importante frisar que a estrutura dissipativa caracteriza um comportamento sistêmico *a nível global*, existe uma *coerência* no funcionamento de suas diversas partes, padrões de comportamento *cooperativo*. Por isso a formação de uma estrutura dissipativa é um processo de auto-organização. Seu caráter globalizante reflete um aspecto importante: tais sistemas podem vir a perder a estabilidade quando uma de suas partes é retirada. Se, por exemplo, retirarmos um pedaço de um cristal ele não deixará de ser um cristal nem sofrerá um desequilíbrio, no entanto, ao retirarmos um órgão de um ser vivo ele pode perecer.

Algumas estruturas dissipativas apresentam uma variação periódica no tempo, o chamado ciclo limite, no qual o sistema percorre uma curva fechada no espaço de fase, caracterizando um atrator. Certas reações químicas podem ser representadas por um ciclo limite, onde as concentrações dos reagentes variam de forma regular no tempo. Portanto a existência de um atrator poderá direcionar o sistema de um estado de crise para um novo regime estável e, algumas vezes, para um regime ativo e organizado.

Existe um aspecto estocástico na gênese das estruturas dissipativas. As flutuações no interior dos sistemas são sempre microscópicas e abundantes. Qual das micro-flutuações será amplificada e irá se ampliar e manifestar-se macroscopicamente, é um fenômeno aleatório. Um

exemplo de auto-organização é o escoamento de um fluido. Quando a velocidade desse fluido ultrapassa um determinado limite formam-se turbilhões. Não se pode deduzir qual micro-corrente originará o turbilhão. A amplificação dessa micro-corrente, o início de uma coerência entre as micro-correntes do fluido em torno da original, é também um processo que não pode ser explicado pelo Princípio de Ordem de Boltzmann, é um comportamento impossível em termos probabilísticos, e inexplicável em termos da atração entre as moléculas do fluido; a formação de turbilhões portanto é uma emergência.

A descoberta das estruturas dissipativas ampliou a visão sobre a formação, a reunião de sistemas e subsistemas organizados. A grande surpresa para os físicos foi que organização e complexidade se formam e se perpetuam em uma situação fundamentalmente de não-equilíbrio, de não simetria com o meio. A entropia, neste caso, é o princípio ordenador ou mesmo organizador. É pela dissipação, pela desorganização do meio que se gera e se mantém um sistema organizado. Todo processo de auto-organização cria uma diminuição localizada de entropia e um aumento desta no espaço circunvizinho.

Existe então uma clausura parcial do sistema organizado, onde os fluxos com o meio são permanentes mas onde também a funcionalidade interna fica resguardada, defendida das instabilidades ambientais. Além disso, a organização ativa é dinâmica, reage ao meio e suas instabilidades e retroage sobre si própria a fim de sobreviver. Essa atividade auto-reguladora, de fluxos e refluxos, ações e retro-ações é fundamental na existência de qualquer ser vivo, na manutenção de seu metabolismo.

Crise e Complexidade

Retomemos rapidamente os passos acompanhados até aqui de complexificação dos constituintes deste universo: variedade de composição; variedade estrutural (interativa); variedade de fases (radiativa e material); processos de reunião (átomos, galáxias, estrelas, moléculas); organização ativa (neguentrópica).

Quando nos voltamos para o ecossistema terrestre nos deparamos com uma variedade quase infindável de sistemas. A quantidade de espécies de seres vivos que habitam nosso planeta é

assombrante. A pergunta que nos resta é que processo é esse que leva coisas simples e desordenadas a estruturas complexas e intrincadas? Qual o mecanismo responsável por mudanças tão radicais?

Segundo a Teoria Geral de Sistemas, o fato dos sistemas naturais serem abertos, de estarem em constante interação uns com os outros e com o meio circunvizinho, é que gera evolução. Quando sujeito a certas perturbações do meio o sistema entra em crise. A desestabilização imediata gerada pela crise pode levá-lo a morte ou o sistema pode integrar a perturbação dentro de si. Ao internalizar a perturbação, ou ruído, ele internaliza as fronteiras impostas pelo meio e restringe sua funcionalidade adequando-a aos novos limites. Ele passa por uma fase subsequente de estabilização e as funções de seus subsistemas são otimizadas. Simultaneamente a esse processo ocorre um desacoplamento progressivo do meio que chega ao máximo quando o sistema consegue reequilibrar-se. Ele retorna à sua semi-clausura tendo agora um novo fator dentro de si, uma nova conjuntura, tendo modificado-se internamente de forma a superar a crise.

Todo processo de crise, quando não desintegra, modifica e força o sistema a evoluir em algum sentido. Segundo Mende (1981) “evolução é então uma transição consecutiva de um nível de estabilidade para outro (escalada da evolução)”. A evolução então se dá através de uma sucessão de ciclos crise-superação-estabilização.

Aparentemente os sistemas naturais não apenas “engolem” o ruído como têm a capacidade de transformá-lo num fator de organização. As crises aumentam a variedade interna dos sistemas, diminuem sua redundância, torna-os mais aptos a resistirem a novas crises. Sem elas as transformações internas seriam irrelevantes; são elas que empurram os sistemas para novas formas de funcionamento e portanto são responsáveis por sua complexificação.

“Em outras palavras, as únicas mudanças capazes de implicar a organização em si - e de não serem simplesmente mudanças de estado do sistema que façam parte de uma organização constante - têm que ser produzidas de fora do sistema.”⁶

⁶ Atlan, 1979: 42.

É portanto pela interação, pela inter-relação das coisas que se dá o processo de complexificação do cosmos. Há uma tradução, uma decodificação e uma imbricação transformadoras e organizadoras.

Vimos assim que o mecanismo que permitiu a possibilidade de evolução além dos processos ditados pelas interações, ou seja, pela estrutura sistêmica e pelo Princípio de Ordem de Boltzmann, é um mecanismo *ativo* e *emergente*, fundamentalmente indedutível *à priori*, o mecanismo das estruturas dissipativas. E a causa desta evolução é a própria relação do sistema com o meio. Portanto é através desses dois novos mecanismos que o cosmo volta a se organizar e se complexificar. É na dissipação e na inter-relação que sistemas mais e mais complexos são forjados.

Capítulo IV

TEMPO E CRIATIVIDADE

A descoberta da entropia e dos processos irreversíveis levantou uma questão antiga e profunda para a humanidade: o tempo. Na antiguidade o tempo era visto como um processo repetitivo, cíclico, devido a existência de fenômenos como a sucessão dia-e-noite, das estações do ano e das fases da lua. Mesmo Heráclito, para quem “tudo flui, nada persiste nem permanece o mesmo”, acreditava que o fluxo temporal era um processo cíclico (Witrow, 1980). O homem tinha uma concepção recorrente do tempo por lidar proximamente com fenômenos biológicos, astronômicos e mesmo de seu próprio organismo que se repetiam periodicamente. Portanto o tempo seria um devir eternamente recorrente, uma sequência infinita ‘do mesmo’.

Uma questão filosófica sempre esteve presente, a questão da realidade objetiva do tempo. Seria o tempo real ou este não passava de uma ilusão criada por nossa mente, um produto de nossa *forma* de pensar? Estariam as coisas *sujeitas* ao fluir temporal ou esse fluir não passa de nossa impressão sobre o que observamos? “De acordo com Kant, o tempo (como o espaço) pertence apenas à mente perceptora e não às coisas nelas mesmas.” (Witrow, 1980: 370).

Os físicos clássicos possuem uma visão oposta à de Kant, eles acreditam na realidade objetiva do tempo, independente de qualquer mente perceptora. Tudo o que existe no universo está sujeito ao tempo e ao seu incessante fluir. Além disso, o fluxo temporal, a passagem do tempo, seria uma dinâmica absoluta, um devir universal único, inerente à todas as coisas. Isto quer dizer que esse fluxo se assemelharia a um compasso ritmado que pode ser representado em um eixo cartesiano, com uma sucessão de instantes eternamente constante. Uma pergunta se torna pertinente aqui: seria a noção de passagem do tempo igual para todas as coisas do universo? De uma estrela a uma formiga? Seria portanto esse fluxo único em qualquer caso?

Outra característica da visão da física clássica sobre o tempo é a sua não-direcionalidade intrínseca, isto é, sua capacidade de apontar tanto “para frente” como “para trás”, sendo a reversibilidade temporal completamente possível. Um processo físico, como já vimos, poderia se desenrolar tanto em um sentido como no outro. Embora existisse uma noção de que o tempo teria

uma direcionalidade, esta não fazia muito sentido pois a sucessão dos acontecimentos não necessitava, ela mesma, transcorrer em uma dada direção. O universo clássico é um universo estático, eternamente idêntico a si mesmo, com fenômenos repetitivos, e, neste sentido, semelhante ao universo dos antigos.

Embora a noção clássica esteja longe de se assemelhar à experiência humana (não é fácil imaginarmos um de nossos mortos voltar a viver, ou um copo quebrado reconstituir-se por si só) ela foi amplamente aceita e adotada. A evolução humana e a história das sociedades, em seu caráter mutável e inovador, não passavam de eventos da “esfera sublunar”. A termodinâmica desestabilizou momentaneamente o imaginário científico mas foi rapidamente domesticada e levada ao seu devido lugar. As teorias da evolução geológica da Terra e da evolução das espécies de Darwin foram duramente criticadas quando surgiram, embora, pela grande quantidade de evidências empíricas encontradas tenham se tornado hegemônicas. Mas para a sociedade científica ao menos o universo, em seu calmo e incessante devir, permanecia eterno e imutável.

A descoberta da recessão das galáxias por Edwin Hubble e da radiação de fundo por Penzias e Wilson trouxeram a necessidade de se pensar de forma diferente o universo e sua dinâmica, e também, o tempo. As novas teorias cosmológicas produzidas a partir dessas descobertas revelaram um aspecto inédito do universo, a sua *historicidade*. A direcionalidade temporal foi ampliada da vivência humana, dos âmbitos biológico e geofísico para o cosmo como um todo. Se o modelo padrão retratar, mesmo que grosseiramente, a história do universo, podemos falar na existência de um tempo inserido na realidade objetiva deste universo, um tempo inerente à todas as coisas. Segundo o modelo padrão o universo teve um início, um nascimento, um desenvolvimento, uma maturação, e, provavelmente, terá um fim. Sua história é diversa, não-repetitiva, surgem sempre aspectos novos, sistemas e fenômenos diferentes dos que já existiam, e há uma mudança gradual de sua conformação global.

Aparentemente há também uma desaceleração gradativa da ocorrência de novidades, isto é, os acontecimentos foram ocorrendo em escalas de tempo crescentes. Poderíamos especular aqui também se existe uma desaceleração do próprio fluxo do tempo, de sua *passagem*, de seu *fluir*.

O caráter de transição e evolução no tempo era dado, no modelo padrão, pela mediação entre temperatura e densidade, a flecha do tempo seria definida a partir do 'diálogo' entre essas duas propriedades. Para Gal-Or a assimetria temporal é definida por outra propriedade: a entropia. Para ele existem três flechas do tempo em nosso universo: a primeira, denominada Flecha Master, tem sua origem na expansão do espaço; a segunda é definida pelo decréscimo universal de temperatura ou densidade de radiação e a terceira é causada pelo "fluxo de energia radiativa da superfície de todos sistemas galáticos para o frio, não-refletor espaço em expansão o qual absorve qualquer quantidade de radiação liberada nas estrelas" (Gal-Or, 1975: 218).

A existência da segunda lei da termodinâmica deve-se, em última instância, à expansão do universo, que se torna um imenso *sorvedor* cósmico e suga a radiação de todas as galáxias. Este 'sorvedor universal' cria todos os gradientes das superfícies dos corpos para o frio e não-refletor espaço em expansão. A Flecha Master dá origem, portanto, a todas assimetrias temporais e irreversibilidades nos processos locais nas estrelas e nos planetas, isto é, a terceira flecha e a segunda têm sua origem na primeira.

A estabilidade das estrelas depende da existência de tal sorvedor para manter-se. Se imaginarmos que uma estrela seja inserida em um meio em equilíbrio com sua superfície, e isto significa uma entrada de radiação igual à saída, podemos esperar por uma catástrofe em pouco tempo. A manutenção da estrutura estelar requer a existência de um meio ambiente frio e não-refletor, um meio que dissipe o fluxo de calor produzido.

O mesmo ocorre com os processos terrestres. A segunda flecha do tempo, que resulta na transferência de calor *dentro* dos corpos galáticos, envolve um grande número de reservatórios e estágios intermediários. Tais estágios e reservatórios são a fonte de toda a complexidade encontrada em nosso planeta, eles originam e perpetuam todo mecanismo organizacional, e dependem também de uma dissipação de calor pela atmosfera superior.

Se postularmos o estabelecimento de equilíbrio na atmosfera superior da Terra, equalizando *input* e *output* de energia através desta, todos os "processos irreversíveis iriam decair

em um tempo de relaxação finito” (Gal-Or, 1975: 222). Os tempos de relaxação variam para cada tipo de reservatório energético, no entanto, são todos *tempos finitos*. Os processos termodinâmicos cessariam no fim do tempo de relaxação e, em seguida, todos os outros processos, por falta de energia. A conformação ambiental da Terra é de fato mantida também por uma situação de não-equilíbrio, de dissipação energética.

Portanto há um ‘escoamento’ de entropia do micro e do macrocosmo para o megacosmo, um escoamento direcionado, apontando para o frio e não-refletor espaço cósmico, e, para o *futuro*.

O Universo Criativo

O rompimento da reversibilidade, a descoberta da flecha do tempo, foram acompanhados pelo rompimento com o determinismo. Muitos físicos, hoje, não acreditam mais em um caráter absoluto das leis fundamentais. As leis físicas, como visto no capítulo II, surgiram ao longo da história do cosmo, *dentro de seu contexto*, e não o contrário, ou seja, o cosmo *não* nasceu dentro do contexto das leis físicas. Segundo Peirce, filósofo e matemático do século passado, o fato das leis derivarem de um estado caótico, onde o que existe é o puro acaso, leva a uma imprecisão inerente aos processos. Portanto, o indeterminismo é um fundamento ontológico da natureza. Além disso, se as leis têm sua origem no acaso, como podemos querer que elas sejam absolutas?

*“Se as leis estão num processo de evolução a partir de um estado de coisas subsumido ao acaso absoluto, seu entretencimento, como objeto de conhecimento, está destituído de determinação final.” E ainda, “se o caráter do universo não for estritamente causal, ou seja, se seu curso futuro não estiver inscrito em seu passado, como pretender que as ciências, como sua representação, tenham o poder de predizê-lo com uma exatidão que ele mesmo não tem?”*⁷

⁷ Ivo Ibrí (1992: 51).

Conceber uma flexibilidade das leis, uma não-onipresença destas nos fenômenos, é conceber um cosmos onde existe *acaso*, onde existe espontaneidade. O acaso traz como qualidades básicas do universo a liberdade e a indeterminação. Se o acaso é a qualidade primeira do cosmos então seu estado primordial é informe, incognoscível e caótico. Neste sentido, será no processo de sua própria existência que o universo passa do *caos* ao *cosmo*, é na interação de suas partes entre si que *surgem* as *coisas*. Mas porque essa passagem da desordem à ordem, do indefinido ao definido? Porque o surgimento de "entidades ordenadas e ordenadoras como as leis físicas e o tempo"? Voltamos aqui às perguntas do início do capítulo II, perguntas que têm sido levantadas por cientistas e filósofos em todos os tempos.

Peirce acredita que a existência de leis se dá no processo evolutivo e é resultado de uma *tendência do universo a adquirir hábitos*.

*"Mas, se as leis da natureza são resultado da evolução, essa evolução deve proceder de acordo com algum princípio; e este princípio será, em si mesmo, da natureza de uma lei." "... sou levado à hipótese de que as leis do universo têm sido formadas sob uma tendência universal de todas as coisas à generalidade e à aquisição de hábitos."*⁸

Similarmente, Paul Davies afirma que o caráter progressivo do universo no sentido de uma maior organização e complexidade representa um "princípio fundamental da natureza que nós ainda não incluímos em nossa compreensão da física e da cosmologia". Segundo ele "matéria e energia possuem uma habilidade inata de se auto-organizarem" (Paul Davies, 1987:42).

O problema da criatividade e da complexidade da natureza tem sido foco de interesse de muitos cientistas nos últimos anos. A possibilidade de uma *tendência* universal para a organização e a complexificação é levantada por filósofos e cientistas de diversas áreas. Podemos nos arriscar a afirmar que uma nova linguagem não-determinística, preocupada em descrever de forma mais ampla e mais completa os fenômenos da natureza, está nascendo de estudos interdisciplinares no âmbito da ciência do complexo.

⁸ Peirce, vol. 7: 515; ver Hartshorne.

*"Isto leva a uma nova visão da matéria, não mais passiva, como descrita na visão mecânica do mundo, mas associada à atividade espontânea. Essa mudança é tão profunda que acreditamos que podemos realmente falar de um novo diálogo do homem com a natureza."*⁹

A qualidade criativa do universo nesta nova concepção é uma qualidade subjascente portanto a todas as coisas. *O universo está subsumido à espontaneidade, à inerência da criatividade.* A enorme variedade observada só pode ser explicada pelo diálogo incessante lei e acaso, entre necessidade e espontaneidade. E é a partir desse diálogo que o universo se constitui, de forma progressiva e criativa, onde a história se escreve *a cada momento*.

⁹"Prigogine, Gregoire, 1994: 3.

Bibliografia

Atlan, H. (1992). Entre o Cristal e a Fumaça. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda.

Barrow, J. D.; Silk, J. (1983). A Mão Esquerda da Criação. Lisboa: Gradiva Publicações Ltda.

Bunge, M. (1979) Treatise on Basic Philosophy - Vol. 4. Dordrecht: D. Reidel Publ. Co.

Davies, P. (1978). *Chance or choice: is the Universe an accident?* New Scientist, 16 November, 506-508. Condon: New Science Publications.

Davies, P. (1987). *The creative cosmos*. New Scientist, 17 December, 41-44. Condon: New Science Publications.

Davies, P. (1988). *Law and order in the Universe*. New Scientist, 15 October, 58-60. Condon: New Science Publications.

Davies, P. (1987). The Cosmic Blueprint. New York: Simon & Schuster Inc.

Denbigh, K. G. (1975). *A Non-Conserved Function for Organized Systems*. Em Entropy and Information in Science and Philosophy, Kubat, L.; Zeman, J. (Ed). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 83-91.

Dirac, P. A. M. (1963). *The Evolution of the Physicist's Picture of Nature*. Scientific American, May. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

Gal-Or, B. (1975). *Philosophical Problems in Thermodynamics*. Em Entropy and Information in Science and Philosophy, Kubat, L.; Zeman, J. (Ed). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 211-230.

Gamow, G. (1958). *The Principle of Incertanty*. Scientific American, January. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

Harrison, Edward R. (1981). *The Early Universe*. Em Cosmology: The Science of the Universe. New York: Cambridge University Press.

- Harrison, M. J.** (1975). *Entropy Concepts in Physics*. Em Entropy and Information in Science and Philosophy, Kubat, L.; Zeman, J. (Ed.). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 41-59.
- Hartshorne, C.; Weiss, P. & Burks, A. (eds.)** (1931-35, 1958). Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Cambridge, Massachussetts, Harvard University Press.
- Ibri, I.** (1992). Kósmos Noetós. São Paulo: Ed. Perspectiva.
- Mainzer, Klaus** (1994). Thinking in Complexity. Berlin: Springer-Verlag.
- Mende, W.** (1981). *Structure-Building Phenomena in Systems with Power-Product Forces*. Em Chaos and Order in Nature, Haken, H. (Ed.). Berli.: Spriger-Verlag, 196-206.
- Morin, E.** (1986). O Método. Vol. 1. Mira-Sintra: Publicações Europa-América Ltda.
- Prigogine, I.; Stengers, I.** (1984). A Nova Aliança. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Prigogine, I.; Stengers, I.** (1988). Entre o Tempo e a Eternidade. Companhia das Letras: Editora Schwarcz Ltda.
- Prigogine, I.** (1976). *Order through Fluctuaction: Self Organization and Social System*. Em Jantsch e Waddington (Ed.) (1976). Evolution and Consciousness - Human Systems in Transition, pg. 93. Massachusets: Addison-Wesley Publ. Co.
- Prigogine, I.** (1994); **Nicolis, G.** (1989). Exploring Complexity. New York: W. H. Freemann and Co.
- Trefil, James S.** (1983). Tha Moment of Creation. New York: Charles Scribner's Sons.
- Uyemov, A. I.** (1975). *Problem of Direction of Time and the Laws of Systems' Development*. Em Entropy and Information in Science and Philosophy, Kubat, L.; Zeman, J. (Ed.). Praga: Elsevier Sci. Publ. Co., 93-102.
- Whitrow, G. J.** (1984). The Natural Philosophy of Time. Oxford: Claridon Press.