

## Introdução

A motivação para a elaboração deste livro decorre do interesse em filosofia da ciência demonstrado por biólogos e estudantes de biologia. Muitas vezes esses alunos e profissionais vão procurar subsídios diretamente nos livros dos filósofos, enfrentando dificuldades terminológicas e conceituais. Na literatura filosófica não encontramos sínteses abrangentes de tópicos de filosofia que possam interessar aos pesquisadores da área de biologia. Desse modo procurei, a partir de minha experiência como professor responsável por disciplinas de *Filosofia e História da Ciência*, na graduação e pós-graduação, na UNESP (Universidade Estadual Paulista), compilar em um único volume, escrito em linguagem despojada, os temas de filosofia que seriam úteis para o biólogo. A orientação seguida foi a de fornecer elementos para o trabalho prático do biólogo, sem enredá-lo em grandes especulações filosóficas.

Embora a utilidade do conhecimento filosófico para a pesquisa científica de boa qualidade não precise ser justificada, apresento aqui algumas razões que costumo trazer para os alunos de graduação:

1) a filosofia da ciência pode contribuir para a formação de *pesquisadores*. O estudante universitário é frequentemente colocado na posição de mero consumidor de conhecimentos, o que se reflete em uma excessiva preocupação com a simplificação e memorização dos resultados científicos. Ao lado da aprendizagem dos conhecimentos fundamentais de sua área de atuação, é preciso que se desenvolva a capacidade de produzir conhecimentos novos. Embora a prática da pesquisa científica só venha a ser exercida no contexto de uma atividade de estágio, ou de pós-graduação, é importante que, mesmo antes de se empenhar nestas atividades, o aluno tome conhecimento dos princípios básicos da pesquisa científica, contribuindo para que venha a se tornar um pesquisador consciente do significado da atividade científica;

2) mesmo que o graduado universitário não venha a realizar pesquisas de pós-graduação, nem se torne um pesquisador, em todo tipo de atividade em que se engajar profissionalmente terá que *resolver problemas*. Para enfrentar os problemas que se apresentarão à sua frente, muitas vezes terá que usar um método científico, para encontrar soluções eficazes e eficientes. Portanto, é importante que se forme no estudante universitário uma mentalidade científica, englobando os seguintes aspectos:

a) *a capacidade de análise e síntese*, isto é, a capacidade de identificar as partes relevantes do problema, estudá-las separadamente, e, mais tarde, reunir os vários dados obtidos, em uma solução global;

b) *a capacidade de crítica*, entendida como a percepção das limitações e falhas no discurso de terceiros, assim como no próprio raciocínio, e a capacidade de revisão destas deficiências;

c) *a capacidade de raciocinar cientificamente*, incluindo a capacidade de descobrir as causas dos fenômenos estudados, de obter conclusões lógicas a partir das informações disponíveis, ampliar ou reduzir a escala de observação de um fenômeno, e identificar os mecanismos responsáveis pela operação do sistema estudado;

3) Além do desenvolvimento das habilidades cognitivas individuais acima, espera-se que o profissional universitário venha a adotar uma *perspectiva histórica e social* da ciência e da tecnologia, vindo a entender que os conhecimentos atualmente aceitos constituem um estágio de um processo que começou há centenas de anos, e certamente se prolongará no futuro. A ciência não é um conjunto de resultados definitivos, mas um processo de produção de conhecimentos, em constante auto-superação. Entender a ciência não é apenas conhecer seus principais resultados, mas acompanhar a discussão viva que ocorre nas revistas especializadas, congressos e reuniões de sociedades científicas. Além disso, o cientista contemporâneo não é um gênio auto-financiado, mas um assalariado do Estado, ou de empresas privadas, que necessita apresentar periodicamente resultados teóricos e/ou aplicações tecnológicas, e formular novos projetos atraentes, para obter verbas de financiamento de suas pesquisas. Por intermédio deste vínculo, se estabelecem complexas relações indiretas entre ciência, tecnologia e desenvolvimento social, cujo entendimento possibilitará ao futuro pesquisador a formulação de projetos de pesquisa que tenham inserção nas principais linhas de interesse nacional ou internacional.

Para atingir o objetivo de contribuir para a formação delineada acima, o conteúdo deste livro está organizado da seguinte maneira. O Capítulo 1 visa discutir a questão *da natureza do conhecimento científico*. Essa questão não parece ter uma resposta única e unânime, mas podemos levantar características do conhecimento científico que o separam de outras formas de conhecimento humano. No Capítulo 2, estudamos *o modo de produção da ciência*, que usualmente recebe o nome de "Metodologia Científica". Para que um determinado conhecimento seja considerado científico, ele deverá satisfazer a condição de ser obtido ou testado em condições controladas. O Capítulo 3 é dedicado a uma *breve história do pensamento biológico*, destacando os pesquisadores e suas obras, e fazendo referência ao contexto científico e social em que trabalharam. O Capítulo 4 trata das características peculiares das ciências biológicas, derivadas do seu objeto de estudo: *sistemas vivos*, inseridos em *um processo evolutivo*. Tais características conduziram a uma diferenciação entre a biologia e outras ciências de natureza, como a física e a química. O Capítulo 5 apresenta os conceitos e métodos da *Teoria Geral dos Sistemas*, de grande utilidade para a modelagem dos fenômenos biológicos. O Capítulo 6, que serve de conclusão ao livro, enfoca a relação entre a atividade científica e a *sociedade tecnológica* em que vivemos, e termina por esboçar idéias para uma *ética da ciência*.

## CAPÍTULO I - NOÇÕES BÁSICAS DE FILOSOFIA DA CIÊNCIA

### **1.1 - O Conhecimento de Senso Comum, e Outras Formas de Conhecimento**

O jovem das sociedades modernas é inserido, desde sua infância, em um processo educacional, que ocupa seu intervalo de tempo mais produtivo. Neste processo, a grande ênfase está na aprendizagem científica: procura-se progressivamente introduzir o estudante em uma visão de mundo científica, que finalmente irá conduzi-lo, no terceiro grau, para a profissionalização e inserção no mercado de trabalho. O estudo científico constitui um fator que distingue o profissional de nível universitário daquele que "aprende fazendo", lhe propiciando condições de entender "como" e "porque" fazer, ao passo que o profissional não universitário supostamente conhece apenas "como" fazer, mas não tem condições de justificar porque age de uma maneira e não de outra.

Como o estudante universitário já se acostumou desde cedo ao processo de educação científica, muitas vezes não se questiona a respeito de validade deste processo. Será que o homem moderno não poderia alicerçar suas atividades apenas no "saber fazer" prático, tornando assim possível reduzir o tempo de aprendizagem escolar a um mínimo, correspondente à alfabetização e ao domínio de habilidades matemáticas elementares? Não poderíamos abandonar o pesado fardo do conhecimento científico, e constituir nossa visão de mundo a partir de outros tipos de saberes, a arte, ou a religião, ou o misticismo, como alguns propõem atualmente? Não estaria incorreta a legislação que regulamenta o exercício profissional, a qual proíbe que indivíduos sem formação científica (i.e, sem diploma de nível superior) exerçam uma série de profissões, que vão desde a medicina até o jornalismo? Por que não é legalmente permitido que indivíduos que se dizem dotados de poderes paranormais realizem intervenções cirúrgicas cuja eficácia parece duvidosa do ponto de vista científico?

Para respondermos a perguntas como estas, precisaremos examinar a constituição do conhecimento científico, e as possíveis vantagens que ele traz sobre outras formas de conhecimento, ou de "saber prático". Para começar, vamos tratar da forma mais elementar de conhecimento, que é o chamado "senso comum". O conhecimento de senso comum é composto de tudo aquilo que aprendemos espontaneamente, observando os outros agirem,

ou por experiência própria. Por exemplo, saber que o fogo queima os dedos é um saber de senso comum, pois foi adquirido quando se teve a experiência de se colocar em contato com o fogo. Para saber que o fogo queima, não precisamos obviamente ter nenhum conhecimento de física ou de química. Neste sentido, o senso comum é anterior a toda ciência, e é necessário para que a própria ciência possa se constituir. Se o ser humano não fosse capaz de aprender com a experiência, e de compartilhar o que aprendeu com seus semelhantes, transmitindo seus conhecimentos de geração para geração, não haveria uma base sobre a qual erguer o edifício da ciência.

O senso comum é o nosso guia para a vida cotidiana, mas é insuficiente quando se trata de dar explicações mais abrangentes sobre as causas dos fatos que observamos. Sobre cada assunto, existem várias opiniões divergentes, faltando um método para resolver qual destas opiniões seria a mais adequada. Tomemos, por exemplo, um indivíduo que repentinamente começa a perder peso, e que tente encontrar a causa deste fenômeno, perguntando a opinião de seus familiares e amigos. Cada um apontará um possível fator, baseado em impressões pessoais, e o indivíduo não saberá em quem confiar, para fazer um tratamento. Para superar tal indecisão, poderá recorrer a um médico, quem, através de consultas e exames de laboratório, faça um diagnóstico mais seguro. Quando ele procura o médico, está em busca de um conhecimento mais confiável, que não poderia normalmente ser obtido através das opiniões divergentes do senso comum.

Outra insuficiência do senso comum é que ele não tem meios de corrigir seus erros em relação a questões mais complexas, que vão além de experiência imediata. Um dos erros mais flagrantes, na história da humanidade, foi a opinião de que a terra seria imóvel, estaria no centro do universo, e teria o sol girando ao seu redor. De fato, nossa experiência imediata nos mostra uma imagem semelhante a esta, pois temos a impressão de que a terra está parada, e que a cada dia o sol descreve um semicírculo na abóbada celeste, pondo-se de um dos lados do horizonte, para, no outro dia, reaparecer do lado oposto. Este erro de avaliação, aparentemente justificado pela observação do movimento do sol em relação à terra, só pôde ser corrigido quando o senso comum foi superado por meio de um novo método de conhecimento - a ciência moderna - em meados do Século XVII.

A emergência do conhecimento científico moderno provocou algumas rupturas e conflitos com o senso comum, ao colocar em dúvida muitas de suas crenças, e ao exercitar a crítica de hábitos arraigados. No domínio biológico, por exemplo, duas teorias que afrontaram o senso comum, no Séc. XIX, foram a teoria microbiana das doenças, e a teoria evolucionista. Não foi fácil demonstrar que um ser invisível a olho nu poderia, por si só, causar a doença e a morte de grandes animais. Foi igualmente necessário um trabalho científico árduo para se demonstrar que as formas de vida se alteram ao longo do tempo. Pasteur e Darwin foram, respectivamente, os autores destas demonstrações.

Além do conhecimento científico, existem outras formas de conhecimento, que nos permitem superar os limites de senso comum. Há um *conhecimento intuitivo*, que constitui a base de várias formas de expressão artística e mística. As obras artísticas afetam nossa sensibilidade e despertam emoções, sem, contudo terem sido elaboradas cientificamente. A *imaginação* é um tipo de processo cognitivo que nos permite criar universos ficcionais, que podem ou não coincidir com o mundo descrito pela ciência. Além disso, as religiões nos trazem conhecimentos sobre uma *realidade sobrenatural*, inacessível à ciência. Estes conhecimentos são oriundos de algumas pessoas especiais, para as quais se supõe que foram reveladas mensagens da parte de um ser superior. Para se ter acesso ao conhecimento religioso, é previamente necessário ter fé na existência de um ser superior; já a ciência tem seu início na dúvida, e não na fé.

## **1.2 Características do Conhecimento Científico**

A eficácia da ação humana, excetuando os lances de sorte, está em estreita dependência do grau de segurança, abrangência e profundidade do *conhecimento* de quem age. As principais realizações do homem em sua história não foram obtidas por tentativa e erro, mas pelo controle dos fatores envolvidos nos problemas práticos, controle cuja eficiência depende do conhecimento que se tem da situação, e de seus possíveis desdobramentos. A necessidade de transformar a natureza e organizar a vida social, com vistas a desenvolver atividades que pudessem lhe garantir a sobrevivência e trazer bem estar, levou o ser humano, desde tempos imemoráveis, a ambicionar um conhecimento que fosse seguro e certo, e que ampliasse seus poderes sobre a natureza e sobre os outros homens. Conhecer as "leis" que regem a natureza e a vida social sempre foi um requisito não só intelectual - visando a satisfação íntima de poder entender "como" e "porque"

ocorrem os fenômenos - mas também prático, visando exercer um controle eficaz sobre os fatores condicionantes deste fenômeno. Um conhecimento deficiente poderia significar ser presa de uma catástrofe natural, ou ser derrotado no embate militar.

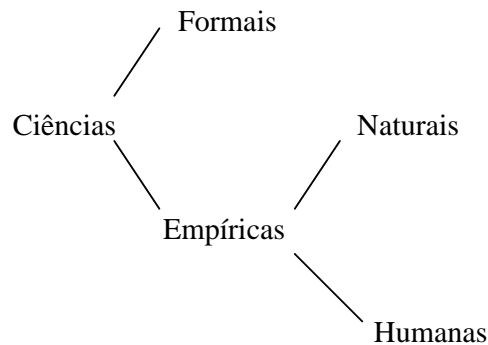
Nas primeiras sociedades que puderam se dar ao luxo de manter indivíduos desobrigados de realizar o trabalho braçal, como a sociedade grega, começaram a aparecer “filósofos”, ou “amantes da sabedoria”, indivíduos interessados em encontrar o caminho que conduzisse ao conhecimento. De início, não havia uma distinção nítida entre filosofia, religião, arte e ciência. Aqueles que se dedicavam a estas atividades de certa maneira buscavam um saber, ou um estilo de vida, que ultrapassasse as limitações do senso comum.

Os antigos gregos, nas figuras de Platão e Aristóteles, delimitaram algumas das características do conhecimento científico, que ainda hoje são consideradas desejáveis. Este conhecimento seria *universal*, aplicando-se a todos os objetos de um determinado tipo, em quaisquer regiões do espaço e do tempo. Não poderia ser determinado pelos gostos pessoais do cientista, ou pelas características geográficas do seu meio. Por exemplo, uma teoria da queda dos corpos feita em uma região montanhosa, por um cientista adaptado à vida naquelas condições, teria que valer também em uma região de planície, e ser aceitável para os indivíduos adaptados a esta última situação.

Em segundo lugar, o conhecimento científico deveria ser *sistemático*, composto por áreas de estudo bem delimitadas e inter-relacionadas entre si, de maneira a congregar todo o conhecimento relevante a respeito de cada assunto, ao passo que o senso comum é disperso, desorganizado, e, conseqüentemente, de difícil utilização em situações complexas e/ou críticas.

Em terceiro lugar, a possibilidade de um conhecimento científico deveria se fundar na existência de *regularidades* e *invariâncias* nos processos naturais e históricos. Não pode haver ciência daquilo que é único e irrepetível. Mesmo naquilo que muda ao longo do tempo, podem existir invariâncias, a saber, a frequência em que ocorre a mudança pode ser constante (por exemplo, o conceito de aceleração na física newtoniana, como a derivada da velocidade).

A característica de sistematicidade ainda marca profundamente o conhecimento científico atual, enquanto a pretensão de universalidade, e a suposição de uma ordem invariante da natureza, foram em certa medida relativizadas, sendo que as ciências biológicas têm contribuído para tal relativização. No que tange à organização sistemática do conhecimento científico, vale lembrar a grande divisão das ciências, cuja origem também remonta aos gregos:



As ciências formais, como a lógica e a matemática, lidam com objetos formais (números, conjuntos), que são representados por meio de símbolos, e possuem métodos próprios de demonstração de suas teorias, que independem da obtenção de informações relativas ao mundo da experiência. Já as ciências empíricas, se baseiam em dados obtidos da natureza, físico-química-biológica e/ou humana, por meio de nossa experiência, que inclui tanto a observação quanto a experimentação.

Por volta do século XVII, através do trabalho de filósofos como Bacon e Descartes, e de cientistas como Galileu e Newton, se estabeleceram os dois grandes pilares da chamada "Ciência Moderna" - a "Ciência" tal como a entendemos hoje - e que são os seguintes:

a) *o recurso à experiência*: as afirmações sobre a natureza devem ser testadas por meio da observação de novos casos, ou por meio de uma intervenção controlada, a experimentação, o que possibilita distinguir entre as correlações casuais e as regularidades constantes, e, mais importante, descartar toda afirmação dogmática, que não possa ser provada por estes meios;



b) o *procedimento analítico*: o entendimento do objeto de estudo é obtido através de sua divisão em partes mais simples, que são estudadas separadamente. O objeto é recomposto após o entendimento do funcionamento da cada parte. O primeiro procedimento, de divisão, é chamado de *análise*, e o segundo, de recomposição, é chamado de *síntese*. Na síntese podemos descobrir o funcionamento do objeto em sua totalidade.

Sobre este dois pilares se constitui o chamado *método científico*, que consiste em um "caminho", ou um "roteiro" a ser seguido, por quem quiser obter um conhecimento seguro e certo. A ciência é uma tarefa coletiva; cada pesquisador parte dos resultados atingidos pelas gerações anteriores e, concordando ou discordando deles, acrescenta-lhes novos elementos, que vêm a compor o corpo de conhecimento científicos. O método científico é o conjunto de regras que dirige este empreendimento coletivo.

A conjugação da exigência de fundamentação empírica com o procedimento analítico, conduz, na ciência contemporânea, ao fenômeno da especialização, que consiste na divisão do trabalho científico em pequenas áreas estanques, com o conseqüente confinamento dos cientistas ao estudo aprofundado de apenas uma parte de um sistema, ou de um aspecto de um problema, deixando de lado os demais. Embora a especialização tenha sido utilizada para o progresso científico, sua radicalização tem levado a tentativas de contrabalançar a extrema compartimentalização do conhecimento, através de um novo esforço de síntese, que se traduz nas iniciativas de constituição de grupos interdisciplinares, ou de áreas transdisciplinares. Um grupo interdisciplinar é aquele no qual vários especialistas, sem abrirem mão de sua formação e atuação em determinada área, se reúnem para trabalhar coletivamente, com vistas à solução de um determinado problema. Já uma área transdisciplinar é aquela na qual várias sub-áreas são unidas, deixando de existir enquanto disciplinas isoladas.

Ao lado da existência de um método, outros fatores vieram a contribuir para o espetacular sucesso do empreendimento científico, do século XVII aos nossos dias. Um deles foi a utilização da *linguagem matemática*, que trouxe rigor quantitativo, e ampliou enormemente a capacidade de calcular valores desconhecidos, a partir de valores conhecidos. Outro, foi o uso de *novos instrumentos*, como o telescópio e o microscópio, que ampliaram grandemente o espectro das coisas observáveis e mensuráveis.

Em nosso Capítulo 2, estudaremos o método científico, mostrando como ele funciona na pesquisa em biociências. Alguns autores defendem que não existiria um único método científico, mas que cada comunidade científica utilizaria as regras que julgasse mais adequadas. Nessa linha de pensamento, o principal critério para adotarmos uma teoria como científica seria sua eficiência prática, e não sua conformidade com regras metodológicas bem definidas. Uma consequência desta concepção seria a impossibilidade de caracterizar precisamente o que seria o conhecimento científico: a ciência seria aquilo que os cientistas julgam como tal. Se a astrologia, por exemplo, mostrar eficiência prática, e existir um grupo, organizado em instituições científicas, que a considere uma ciência, então ela seria de fato uma ciência. Não haveriam limites bem demarcados entre ciência e religião, ciência e arte, ou ciência e filosofia. Porém, se adotarmos que existe um método científico razoavelmente definido, estes limites poderão ser traçados, de acordo com as características próprias ao conhecimento científico.

### **1.3 - Linguagem e Modelos Científicos**

Cada área de estudos científicos é caracterizada por um conjunto de termos técnicos, constituindo uma linguagem especializada, na qual se procura, diferentemente da linguagem do senso comum, ter-se um significado preciso para cada termo empregado. Quanto mais vasta se torna a área de estudos, maior se torna o seu vocabulário específico, pois os novos aspectos levantados sobre o objeto de estudo, ou sobre suas relações com o meio, muitas vezes precisam ser expressos em novas palavras, ou novas teorias; se fossem expressos na velha terminologia, ou nas velhas teorias, criar-se-ia nelas uma ambigüidade de significado.

Podemos distinguir, na linguagem empregada em cada área científica, dois tipos de termos: os termos *observacionais* e os termos *teóricos*. Essa distinção não é absoluta, uma vez que nossas observações são influenciadas pelas teorias em que acreditamos, e nossas teorias são influenciadas por nossas observações prévias. Os termos observacionais têm o seu significado associado com percepções, diretas ou indiretas. Percepções indiretas são aquelas em que o estímulo origina uma cadeia causal, culminando com uma percepção direta; por exemplo, podemos “observar” a pressão de um gás por meio da observação do ponteiro de um instrumento de medida. Portanto, “pressão” é um termo

observacional. Já o significado dos termos teóricos depende de definições conceituais. Por exemplo, "tamanho" de um objeto físico é um termo observacional, pois sua especificação é feita através de uma percepção do objeto, e sua comparação com um instrumento de medida (régua); "espécie biológica" é um termo teórico, pois depende da conceituação de "espécie" que adotarmos.

A fronteira entre o observável e o não-observável não é nítida, pois incluímos no domínio do observável objetos que ainda não foram percebidos, mas que podem sê-lo. O não-observável é aquilo que, por sua própria natureza, não pode ser percebido, como, por exemplo, o espaço e o tempo, os campos gravitacionais e os elétrons. Os termos teóricos desempenham um importante papel nas ciências, operando em conjunto com os termos observacionais. No interior de uma ciência madura, o significado dos termos observacionais é influenciado pelo significado atribuído aos termos teóricos. Por exemplo, na medida da temperatura de um objeto físico, a escolha de uma certa forma de medida é convencional (por exemplo, uso de escala Celsius, Fahrenheit ou Centígrados), sendo influenciada por nossas pressuposições teóricas (por exemplo, existência de um grau zero absoluto). Conseqüentemente, uma mudança puramente teórica pode levar a alterações na totalidade de uma área científica.

As evidências perceptuais, que especificam o significado dos termos observacionais, são, na ciência, públicas e repetíveis. São públicas porque qualquer indivíduo pode ter acesso a elas, e, no caso de se fazerem medições, os resultados atingidos pelos pesquisadores têm que convergir (estatisticamente) entre si. São repetíveis porque - com raras exceções, como, por exemplo, observações de espécies em extinção, ou de fenômenos celestes que ocorram em largos intervalos de tempo - as observações e experimentos podem, em princípio, ser refeitos, em qualquer local e a qualquer momento, obtendo-se resultados também convergentes.

A distinção entre observacional e teórico dá origem a duas maneiras distintas de se encarar a atividade científica. O *Empirismo* é uma concepção da ciência que enfatiza a base observacional, julgando que o ideal da ciência estaria em sua perfeita adequação com o observável, ao passo que os aspectos mais abstratos das teorias seriam apenas convenções que adotamos para facilitar as nossas previsões sobre o ainda não observado. O *Realismo* é a concepção oposta, para a qual os termos teóricos expressam aspectos da

realidade exterior à nossa mente, cujo desvendamento completo seria o ideal da ciência. Portanto, limitar-se ao fenômenos (fatos observáveis) ou ir além deles, para tentar retratar a estrutura da natureza, tal é o conflito que se coloca entre as duas posições.

Um meio bastante usado, para representar o objeto de estudo, em sua estrutura e funcionamento, é a construção de *modelos*, representações esquemáticas das características mais relevantes destes objetos. São vários os tipos de modelos utilizados nas ciências, com diferentes finalidades. Alguns dos tipos de modelos são os seguintes:

a) *Maquetes e Miniaturas*: por meio de análise dimensional (comparação entre escalas de grandeza), são produzidas réplicas do objeto de estudo, que guardam as mesmas proporções de forma do objeto original. Exemplos: maquetes do sistema solar, construídas com uma lâmpada e bolas de isopor, utilizadas com fins didáticos; miniaturas de árvores de uma floresta, destinadas a estudar os efeitos do fogo na floresta;

b) *Modelos Analógicos*: constituem esquemas abstratos, que representam de maneira simplificada as características mais relevantes do objeto de estudo. Por exemplo, no Século XIX considerava-se que os choques entre as moléculas de um gás perfeito fossem como colisões entre bolas de bilhar; no início da Mecânica Quântica, a estrutura atômica foi representada por Bohr à semelhança do sistema solar, com os elétrons girando ao redor do núcleo; e, no início da Biologia Molecular, Watson e Crick representaram a estrutura do DNA como uma "dupla hélice";

c) *Diagramas*: consistem em representações gráficas, com o uso de figuras geométricas, linhas e setas, que representam as principais partes do sistema estudado, e as relações entre estas partes. Ex.: circuitos eletrônicos, diagramas de ecossistemas, fluxogramas, etc.. Também podem ser analógicos, como no caso dos mapas geográficos;

d) *Modelos Matemáticos*: são conjuntos de equações que representam o comportamento temporal do sistema estudado. Geralmente as variáveis independentes representam resultados de medidas empíricas, e as derivadas temporais representam as funções e/ou processos que ocorrem no sistema. Por exemplo, as equações que descrevem as variações genéticas em uma população, ou as que descrevem a dinâmica populacional

(relação entre nascimentos e mortes, determinando o aumento ou diminuição da população);

e) *Modelos Computacionais*: constituem simulações do comportamento de sistemas reais, feitas no computador. Por exemplo, simulações de alterações climatológicas; redes de "autômatos booleanos", que representam a dinâmica do sistema nervoso, do sistema imune, ou a regulação gênica (controle que os genes exercem uns sobre os outros). Os "autômatos" são unidades de processamento de informação, interligadas em uma rede, capazes de efetuar as operações booleanas (isto é, as operações aritméticas).

#### **1.4 - Explicações Científicas**

A descrição e a explicação são dois momentos fundamentais do trabalho científico. Em ambos os casos, partimos de um ou mais fatos, que despertam nossa dúvida ou curiosidade, ou ainda de uma situação que nos afigura como problemática. Tais fatos e situações são chamadas de *fenômenos*, ou seja, aquilo que se apresenta para o entendimento científico. Frente aos fenômenos, o cientista procura efetuar dois passos consecutivos, a descrição e a explicação. A *descrição* consiste em mostrar, com rigor, *como se constitui* o fenômeno, ou seja, ela procura mostrar a *estrutura* do fenômeno. Por exemplo, os morfologistas e anatomistas trabalham no sentido de mostrar, com clareza e precisão, as partes constitutivas das plantas e animais. A *explicação* consiste em se mostrar *a razão pela qual o fenômeno acontece*, o que freqüentemente se resume em mostrar as causas geradoras do fenômeno. Por exemplo, na fisiologia, a locomoção dos mamíferos é explicada por meio da atividade de um sistema ósseo/muscular; na genética, certas doenças são explicadas como geradas pela presença ou ausência de determinados genes.

A importância das explicações científicas consiste em que elas nos permitem prever e controlar os fenômenos. Na medida em que conhecemos as causas geradoras de um fenômeno, podemos evitar que ele ocorra, impedindo a combinação de causas que o geram, ou mesmo fazer com que ele ocorra, proporcionando a apropriada combinação de causas, no lugar e no tempo desejados. Dessa maneira, a procura por boas explicações científicas não é apenas uma forma de satisfazer nossas dúvidas e curiosidades a respeito

dos fatos da natureza, mas também é, principalmente, uma forma de fornecer subsídios seguros e eficazes para a vida prática. Com base neste raciocínio, se configura uma linha de pensamento chamada de *pragmatismo*, para a qual o grande valor das teorias consiste em sua utilidade para a vida prática. Neste aspecto, a ciência contemporânea, ao unir conhecimento e técnicas, gerando as novas tecnologias que revolucionam os meios de trabalho e cotidiano humanos, mostra uma profunda tendência pragmatista.

Embora a grande maioria das explicações científicas seja do tipo causal, existem outras maneiras de se explicar os fenômenos, como veremos, no caso das ciências biológicas, na seção 4.4 deste livro. Vamos dar, aqui, dois exemplos simples.<sup>b</sup> Quando explicamos o tipo de movimento de um corpo, dizendo que ele é acelerado, e não uniforme, estamos dando uma explicação formal, ou seja, estamos nos referindo à forma, ou *ao modo como o fenômeno ocorre*, e não às suas causas. Por outro lado, quando dizemos que o movimento de corpo é acelerado devido à ação da força gravitacional, estamos então fazendo uso da explicação causal. Já no domínio biológico, quando dizemos por exemplo que um boi se locomove até o riacho para beber água, estamos fazendo uso de uma explicação teleológica ou finalista, que faz referência aos fins ou *objetivos* em função dos quais o fenômeno (locomoção do boi) ocorre.

As explicações contêm duas partes: o explicandum, aquilo que é explicado, a saber, o fenômeno ocorrido, e o explicans, aquilo que explica, a saber, a razão pelo qual o fenômeno ocorreu. Para que seja identificado o explicans, é necessário que se tenha bem determinado qual é o explicandum. Por isso, antes de procurar uma explicação científica para um fenômeno, é preciso descrevê-lo adequadamente. Lembremo-nos do ditado "um problema bem formulado já contém meia resposta". Com base neste raciocínio, verificamos que, nas ciências biológicas, o trabalho descritivo e o explicativo se complementam, não fazendo sentido contrapor a descrição e a explicação. Um bom trabalho descritivo já antecipa as possibilidades de explicação do fenômeno, e um bom trabalho explicativo leva em conta todos os aspectos relevantes da descrição previamente feita.

### **1.5 - Raciocínio Científico: Indução e Dedução**

A ciência não se faz apenas de observações e experimentos, mas, principalmente, de raciocínios a partir dos dados, apontando para *conclusões* que nos sejam significativas. Por exemplo, nos interessa saber quais são as características do vírus HIV, em função das inferências que podemos fazer a partir desta informação, para produzir uma cura para a AIDS. Portanto, uma noção básica sobre os tipos de inferências que podem ser feitas a partir dos dados disponíveis é importante, para o pesquisador que não quiser se limitar a ser um mero colecionador de dados. Por outro lado, um estudo rigoroso de lógica, para o qual seria indispensável a introdução de um formalismo matemático, extrapola, na maioria dos casos, o universo de interesse dos estudiosos da área biológica, motivo pelo qual ficaremos restritos ao mínimo necessário, para o entendimento de alguns conceitos utilizados na metodologia científica.

Para podermos tratar dos tipos de raciocínio, precisamos introduzir alguns termos do vocabulário da lógica, e também relembrar algumas noções de Teoria dos Conjuntos:

a) *Proposição*: é uma afirmação sobre um fato;

b) *Verdade lógica*: é uma adequação entre proposições e fatos; uma proposição é logicamente verdadeira se afirma um fato que ocorre, ou nega um fato que não ocorre; é falsa se afirma um fato que não ocorre, ou nega um fato que ocorre;

c) *Premissas*: são as proposições que, em um raciocínio, tomamos como verdadeiras; expressam os dados (empíricos e teóricos) que já conhecemos, e julgamos serem uma base satisfatória para obter novos conhecimentos;

d) *Conclusão*: é uma proposição obtida (ou "inferida") das premissas, através do raciocínio;

e) *Argumento*: é um raciocínio completo, constituído de premissas e conclusão;

f) *Proposições Particulares*: são proposições que afirmam alguma coisa sobre determinados elementos de um determinado conjunto (geralmente iniciam-se com "Alguns...");

g) *Proposições Universais*: são proposições que afirmam algo sobre todos os elementos de um determinado conjunto (geralmente iniciam-se com "Todos...");

h) *Falácias*: são raciocínios incorretos, que aparentam ser corretos, nos quais as premissas e/ou a conclusão podem ser verdadeiras, mas a forma de obtenção da conclusão é incorreta.

Usaremos os seguintes esquemas para expressar o conteúdo das proposições como relações entre conjuntos:

- a) "Todo A é B", ou  
 "Os A são B" .....  $A \subset B$  (C = estar contido)
- b) "Algum A é B" .....  $A \cap B$  ( $\cap$  = intersecção)
- c) "Todo A não é B" .....  $A \text{ Dt } B$  (Dt = disjunção total)
- d) "Algum A não é B" .....  $A \text{ Dp } B$  (Dp = disjunção parcial)
- e) "Se A então B" ou  
 "Sempre que A então B" .....  $A \subset B$
- f) "Se A então não B", ou  
 "Sempre que A então não B" .....  $A \text{ Dt } B$

Os tipos de raciocínio se diferenciam entre si pelo modo como a conclusão é inferida das premissas. Os dois tipos de raciocínio mais estudados são:

a) *Indução*: é um raciocínio no qual a conclusão é mais abrangente que as premissas (as premissas contêm proposições particulares, e a conclusão é uma proposição universal). É produzida por um processo de generalização (uma propriedade que vale para diversos elementos de um conjunto e considerada válida para todo o conjunto). Não existe um método para sabermos se uma indução é correta; podemos inclusive fazer indução a



partir de uma única premissa. No contexto de trabalho científico, procura-se fazer indução a partir de uma amostra significativa.

Exemplos:

1) P1: Anteontem o sol nasceu

P2: Ontem o sol nasceu

P3: Hoje o sol nasceu

C: Todos os dias o sol nasce

2) P1: Pinóquio mentiu uma vez

C: Pinóquio sempre mente

Existem vários tipos de indução, dentre os quais destacamos:

a.1) *Indução no tempo*: infere-se que aquilo que ocorreu no passado e/ou presente ocorrerá no futuro, ou que aquilo que ocorreu algumas vezes ocorrerá sempre;

a.2) *Indução espacial*: infere-se que aquilo que ocorre em alguns lugares também ocorre em outros lugares;

a.3) *Indução da parte para o todo*: infere-se que aquilo que acontece com algumas partes de um sistema ocorra em sua totalidade;

a.4) *Indução causal*: se dois tipos de fenômenos x e y sempre ocorrem conjuntamente, e x ocorre antes de y, infere-se então que x é a causa de y;

a.5) *Indução por analogia*: infere-se que o que acontece com sistemas semelhantes a x também ocorre com x;

a.6) *Indução por homologia*: se o sistema x é semelhante ao sistema y, infere-se que o que ocorre com certas partes de x também ocorre com as partes correspondentes de y;

a.7) *Indução por eliminação de alternativas*: se a causa de  $x$  deve ser  $y$ ,  $w$  ou  $z$ , e se temos indícios de que não é  $w$  nem  $z$ , então infere-se que a causa de  $x$  é  $y$ ;

a.8) *Indução de probabilidades*: se  $x$  ocorre  $n$  vezes em  $z$  casos, então a probabilidade de  $x$  é  $n/z$ .

b) *Dedução*: é um raciocínio no qual a conclusão é de menor ou igual abrangência que as premissas, expressando desta maneira apenas informações já contidas nelas. Há um método para sabermos se a dedução é correta, que apresentaremos aqui de forma simplificada, fazendo uso da Teoria dos Conjuntos. Toda proposição pode ser codificada como uma relação entre conjuntos. Um argumento dedutivo é correto se a conclusão for obtida em todas as possíveis combinações das relações estabelecidas pelas premissas. Isto poderá ser entendido através dos seguintes exemplos:

1) P1: Todos os gambás são animais malcheirosos

P2: Alguns gambás vivem na floresta

C: Alguns animais malcheirosos vivem na floresta

Este argumento é correto, e o método para prová-lo é o seguinte: a primeira premissa afirma que o conjunto dos gambás está contido no conjunto dos animais malcheirosos, e a segunda premissa afirma que existe uma intersecção ( $x$ ) entre o conjunto dos gambás e o conjunto dos animais que vivem na floresta. A conclusão afirma que existe uma intersecção ( $y$ ) entre o conjunto dos animais malcheirosos e o conjunto dos animais que vivem na floresta.

Um exame do problema revela que, se existe uma intersecção ( $x$ ) entre o conjunto dos gambás e o conjunto dos animais que vivem na floresta, e se o conjunto dos gambás está contido no conjunto dos animais malcheirosos, então necessariamente tem que existir uma intersecção ( $y$ ) entre o conjunto dos animais malcheirosos e o conjunto dos animais que vivem na floresta, qualquer que seja a maneira que tracemos o diagrama (não há como representar as relações entre as premissas, sem, ao mesmo tempo, representar a conclusão).

Podemos agora fazer a importante distinção entre deduções corretas e incorretas. As *deduções corretas* são aquelas em que a conclusão é uma conseqüência necessária das premissas; sendo assim, em todas as combinações possíveis das premissas (ou seja, de todas as maneiras em que os diagramas forem desenhados) a conclusão sempre aparecerá. Já nas deduções incorretas a conclusão não é conseqüência necessária das premissas, portanto é possível que em um diagrama as premissas estejam todas expressas (como relações entre conjuntos), mas a conclusão não apareça. Logo, em termos práticos, basta que encontremos ao menos uma combinação das premissas em que a conclusão *não* apareça, para provarmos que a dedução é incorreta. Se a dedução for correta, constataremos que não há forma possível de representar as premissas sem que a conclusão apareça. Vejamos um exemplo ilustrativo de dedução incorreta:

- 2) P1: Todos os gambás são animais malcheirosos  
P2: Alguns animais malcheirosos vivem na floresta  
 C: Alguns gambás vivem na floresta

Esta dedução é incorreta; para prová-lo, basta que mostremos uma possível combinação das relações estabelecidas pelas premissas, da qual não se obtém a conclusão.

### **1.6 - Exercícios de Dedução**

Para uma melhor entendimento de lógica dedutiva é essencial a realização de exercícios. Apresentamos abaixo 18 exercícios para o leitor resolver.

- 1) P1: Todas as aves têm asas  
P2: Alguns animais que têm asas não voam  
 C : Algumas aves não voam
- 2) P1: Se uma árvore for pioneira, cresce com rapidez  
P2: O mogno não cresce com rapidez  
 C : O mogno não é uma árvore pioneira
- 3) P1: A fauna brasileira possui diversas variedades de sapos  
P2: Diversas variedades de sapos são venenosos  
 C : Existem na fauna brasileira variedades venenosas de sapos

- 4) P1: Os cães raivosos apresentam salivação e perda de apetite  
P2: Alguns cães com salivação e perda de apetite são agressivos  
 C : Alguns cães raivosos são agressivos
- 5) P1: Algumas leguminosas não crescem em terreno alagadiço  
P2: Todas as leguminosas são plantas ricas em carboidratos  
 C : Algumas plantas ricas em carboidratos não crescem em terreno alagadiço
- 6) P1: As árvores de madeiras nobres são de crescimento lento  
P2: As árvores de madeiras nobres são do estágio final da sucessão  
 C : As árvores de crescimento lento são do estágio final da sucessão
- 7) P1: Os pés de eucalipto com mais de 8 m não são utilizados para a fabricação de papel  
 P2: Os pés de eucalipto com mais de 8 m são utilizados na indústria madeireira  
 C: Os pés de eucalipto com menos de 8 m são utilizados para a fabricação de papel.
- 8) P1: Algumas variedades de pinheiros não contribuem para a regeneração do solo  
 P2: Algumas variedades de pinheiros não são prejudicadas pela insolação tropical  
 C: Algumas variedades de pinheiros que contribuem para a regeneração do solo são prejudicadas pela insolação tropical
- 9) P1: Se um animal não é primata, então não é humano  
P2: Se um animal não é mamífero, então não é primata  
 C : Se um animal não é mamífero, então não é humano
- 10) P1: Nenhum deserto possui floresta  
P2: Todos os cactus são plantas do deserto  
 C : Nenhuma floresta possui cactus
- 11) P1: O uso de adubo químico confere maior produtividade às plantações  
P2: O uso de adubo químico desgasta o solo  
 C : Uma maior produtividade das plantações tem como consequência o desgaste do solo

- 12) P1: Se um veículo permanece muito tempo na estrada, tem maior risco de sofrer acidente  
 P2: Se um veículo é muito veloz, não permanece muito tempo na Estrada  
 C : Se um veículo é muito veloz, não tem maior risco de sofrer acidente
- 13) P1: Se o ponteiro ultrapassar a faixa de tolerância, estão o material analisado é radioativo  
 P2: Se o ponteiro ultrapassar a faixa de tolerância, os funcionários deixarão o local  
 C : Se o material analisado for radioativo, os funcionários deixarão o local
- 14) P1: Algumas variedades de pinheiros são prejudicadas pela insolação tropical  
 P2: As variedades de pinheiros que não são prejudicadas pela insolação tropical apresentam alta produtividade  
 C : As variedades de pinheiros prejudicadas pela insolação tropical não apresentam alta produtividade
- 15) P1: As batatas com menos de 2 cm de diâmetro são utilizadas para a produção de conservas  
 P2: As batatas com menos de 2 cm de diâmetro não são vendidas na feira  
 C : As batatas com mais de 2 cm de diâmetro não são utilizadas para a produção de conservas
- 16) P1: As espécies em extinção da fauna brasileira são adaptadas ao seu ecossistema  
 P2: Nenhuma espécie adaptada ao seu ecossistema é extinta devido à seleção natural  
 P3: As espécies com baixa taxa de reprodução são extintas devido à seleção natural  
 C : As espécies em extinção da fauna brasileira não têm uma baixa taxa de reprodução
- 17) P1: Alguns genes não produzem proteína  
 P2: Os genes lidos pelo RNAm produzem proteínas  
 C : Os genes que não produzem proteínas não são lidos pelo RNAm

18) P1: Se Pedro é aluno da Biologia, então é aluno do IBB

P2: Se Pedro não é aluno da UNESP, então não é aluno do IBB

C : Se Pedro não é aluno da UNESP, então não é aluno da Biologia

### **1.7 - Falácias: Um Caso Humorístico**

O estudo de lógica exige concentração e raciocínio, o que não exclui que possamos aprender esta disciplina de uma forma mais descontraída. Muitas vezes os erros de raciocínio são engraçados, o que motivou o escritor americano Max Schulman a escrever um conto humorístico intitulado "O Amor é uma Falácia". Neste conto, um estudante de direito tenta ensinar lógica a uma garota supostamente burra, porém bonita, com o objetivo de torná-la uma esposa perfeita. Mas o feitiço acaba se voltando contra o feiticeiro...

Vamos reproduzir, aqui, parte deste excelente conto, que constitui uma divertida aula sobre falácias:

"A Lógica - comecei, limpando a garganta - é a ciência do pensamento. Se quisermos pensar corretamente, é preciso antes saber identificar as falácias mais comuns da Lógica. É o que vamos abordar hoje.

-Bacana! - exclamou ela, batendo palmas de alegria.

Fiz uma careta, mas segui em frente, com coragem.

-Vamos primeiro examinar uma falácia chamada *Dicto Simpliciter*.

-Vamos - animou-se ela, piscando os olhos com animação.

-*Dicto Simpliciter* quer dizer um argumento baseado numa generalização não qualificada. Por exemplo: o exercício é bom, portanto todos devem se exercitar.

-Eu estou de acordo - disse Polly, fervorosamente - Quer dizer, o exercício é maravilhoso. Isto é, desenvolve o corpo e tudo.

-Polly - disse eu, com ternura - o argumento é uma falácia. Dizer que o exercício é bom, é uma generalização não qualificada. Por exemplo: para quem sofre do coração, o exercício é ruim. Muitas pessoas têm ordens de seus médicos para não se exercitarem. É preciso qualificar a generalização. Deve-se dizer: o exercício é geralmente bom, ou é bom

para a maioria das pessoas. Senão, está-se cometendo um *Dicto Simpliciter*. Você compreende?

-Não - confessou ela - Mas isto é bacana. Quero mais. Quero mais!

-Será melhor se você parar de puxar a manga do meu casaco - disse eu, e, quando ela parou, continuei: - Em seguida, abordaremos uma falácia chamada *Generalização Apressada*. Ouça com atenção: você não sabe falar francês, eu não sei falar francês, Petey Bellows não sabe falar francês. Devo portanto concluir que ninguém na Universidade sabe falar francês.

-É mesmo? - espantou-se Polly - Ninguém? Reprimi a minha impaciência.

-É uma falácia, Polly. A generalização é feita apressadamente. Não há exemplos suficientes para justificar a conclusão.

-Você conhece outras falácias? - perguntou ela, animada. - Isto é até melhor do que dançar.

Esforcei-me por conter a onda de desespero que ameaçava me invadir. Não estava conseguindo nada com aquela moça, absolutamente nada. Mas não sou outra coisa senão persistente. Continuei:

-A seguir, vem o *Post Hoc*. Ouça: Não levemos Bill conosco ao piquenique. Toda a vez que ele vai junto, começa a chover.

-Eu conheço uma pessoa exatamente assim - exclamou Polly. - Um moça da minha cidade, Eula Becker. Nunca falha. Toda a vez que ela vai junto a um piquenique...

-Polly - interrompi, com energia.- É falácia. Não é Eula Becker que causa a chuva. Ela não tem nada a ver com a chuva. Você estará incorrendo em *Post Hoc*, se puser a culpa na Eula Becker.

-Nunca mais farei isso - prometeu ela, contrita. -Você está brabo comigo?

-Não, Polly - suspirei. - Não estou brabo.

- Então conte outra falácia.

-Muito bem. Vamos experimentar as *Premissas Contraditórias*.

-Vamos - gorjeou ela, piscando os olhos alegremente.

Franzi a testa, mas continuei.

-Aqui vai um exemplo de *Premissas Contraditórias*. Se Deus pode fazer tudo, pode fazer um pedra tão pesada que Ele mesmo não conseguirá levantar?

-É claro - respondeu ela imediatamente.

-Mas se Ele pode fazer tudo, pode levantar a pedra.

-É mesmo - disse ela, pensativa. - Bem, então acho que ele não pode fazer a pedra.

-Mas ele pode fazer tudo - lembrei-lhe.

Ela coçou sua cabeça linda e vazia.

-Estou confusa - admitiu.

-É claro que está. Quando as premissas de um argumento se contradizem, não pode haver argumento. Se existe uma força irresistível, não pode existir um objeto irremovível. Compreendeu?

-Conte outras dessas histórias bacanas - disse Polly, entusiasmada.

Consultei o relógio.

-Acho melhor pararmos por aqui. Levarei você para casa, e lá pensará no que aprendeu hoje. Teremos outra sessão amanhã de noite.

Sentado sob o carvalho, na noite seguinte, disse:

-Nossa primeira falácia desta noite se chama *Ad Misericordiam*.

Ele estremeceu de emoção.

-Ouça com atenção - comecei. - Um homem vai pedir emprego. Quando o patrão pergunta quais as suas qualificações, o homem responde que tem uma mulher e seis filhos em casa, que a mulher é aleijada, as crianças não têm o que comer, não têm o que vestir nem o que calçar, a casa não tem camas, não há carvão no porão e o inverno se aproxima.

Uma lágrima desceu por cada uma das faces rosadas de Polly.

-Isso é horrível, horrível! - soluçou.

-É horrível - concordei - mas não é argumento. O homem não respondeu à pergunta do patrão sobre suas qualificações. Em vez disso, tentou despertar a sua compaixão. Comentou a falácia de *Ad Misericordiam*. Compreendeu?

-Você tem um lenço? - pediu ela, entre soluços. Dei-lhe o lenço, e fiz o possível para não gritar enquanto ela enxugava os olhos.

-A seguir - disse, controlando o tom da voz - discutiremos a *Falsa Analogia*. Eis um exemplo: Deviam permitir aos estudantes consultar seus livros durante os exames. Afinal, os cirurgiões levam radiografias para se guiarem durante uma operação, os advogados consultam seus papéis durante um julgamento, os construtores têm plantas que os orientam na construção de uma casa. Por que, então, não deixar que os alunos recorram a seus livros durante uma prova?

-Pois olhe - disse ela, entusiasmada - esta é a idéia mais bacana que eu já ouvi há muito tempo.



-Polly, disse eu, com impaciência. - O argumento é falacioso. Os cirurgiões, os advogados e os construtores não estão fazendo testes para ver o que aprenderam, e os estudantes sim. As situações são completamente diferentes e não se pode fazer analogia entre elas.

-Continuo achando a idéia bacana - disse Polly.

-Bolas! - murmurei. E prossegui, persistente.

-A seguir, tentaremos a *Hipótese Contrária ao Fato*.

-Essa parece ser boa - foi a reação de Polly.

-Ouça: Se Mme. Curie não deixasse, por acaso, uma chapa fotográfica numa gaveta junto com uma pitada de pechblenda, nós hoje não saberíamos da existência do rádio.

-É mesmo, é mesmo - concordou Polly, sacudindo a cabeça. - Você viu o filme? Eu fiquei louca pelo filme. Aquele Walter Pidgeon é tão bacana! Ele me fez vibrar.

-Se conseguir esquecer o Sr. Pidgeon por alguns minutos - disse eu, friamente - gostaria de lembrar que o que eu disse é uma falácia. Mme. Curie teria descoberto o rádio de alguma outra maneira. Talvez outra pessoa o descobrisse. Muita coisa podia acontecer. Não se pode partir de uma hipótese que não é verdadeira, e tirar dela qualquer conclusão defensável.

-Eles deviam botar o Walter Pidgeon em mais filmes - disse Polly. - Eu quase não vejo ele no cinema.

Mais uma tentativa, decidi. Mas só mais uma. Há um limite ao que podemos suportar.

-A próxima falácia é chamada *Envenenar o Poço*.

-Que bonitinho! - deliciou-se Polly.

-Dois homens vão começar um debate. O primeiro se levanta e diz: "Meu oponente é um mentiroso conhecido. Não é possível acreditar numa só palavra do que ele disser". Agora, Polly, pense bem. O que está errado?

Vi-a enrugar a sua testa cremosa, concentrando-se. De repente, um brilho de inteligência - o primeiro que eu vira - surgiu nos seus olhos.

-Não é justo! - disse ela com indignação. Não é nada justo. Que chance tem o segundo homem, se o primeiro diz que é um mentiroso, antes mesmo dele começar a falar?

-Exato! - gritei, exultante. - Cem por cento exato! Não é justo. O primeiro envenenou o poço antes que os outros pudessem beber dele. Atou as mãos do adversário antes da luta começar...Polly, estou orgulhoso de você.

-Ora - murmurou ela, ruborizando de prazer.

-Como vê, minha querida, não é tão difícil. Só requer concentração. É só pensar, examinar, avaliar. Venha, vamos repassar tudo o que aprendemos até agora.

-Vamos lá - disse ela, com um abano distraído da mão.

Animado pela descoberta de que Polly não era uma cretina total, comecei uma longa e paciente revisão de tudo o que dissera até ali. Sem parar, citei exemplos, aponte falhas, martelei sem dar tréguas. Era como cavar um túnel. A princípio, trabalho, suor e escuridão. Não tinha idéia de quando veria a luz ou mesmo se a veria. Mas insisti. Dei duro, cavouquei até com as unhas, e finalmente fui recompensado. Descobri uma fresta de luz. E a fresta foi se alargando até que o sol jorrou para dentro do túnel, clareando tudo.

Levara cinco noites de trabalho forçado, mas valera a pena. Eu transformara Polly em uma lógica, e a ensinara a pensar. Minha tarefa chegara a bom termo. Fizera dela uma mulher digna de mim. Estava apta a ser minha esposa, uma anfitriã perfeita para as minhas muitas mansões, uma mãe adequada para os meus filhos privilegiados.

Não se deve deduzir que eu não sentia amor pela moça. Muito pelo contrário. Assim como Pigmalião amara a mulher perfeita que moldara para si, eu amava a minha. Decidi comunicar-lhe os meus sentimentos no nosso encontro seguinte. Chegara a hora de mudar nossas relações, de acadêmicas para românticas.

-Polly - disse eu, na próxima vez que nos sentamos sob o carvalho - hoje não falaremos de falácias.

-Puxa! - disse ela, desapontada.

-Minha querida - prossegui, favorecendo-a com um sorriso - hoje é a sexta noite em que estamos juntos. Nos demos esplendidamente bem. Não há dúvidas de que formamos um bom par.

-*Generalização Apressada* - exclamou ela, alegremente.

-Perdão - disse eu.

-*Generalização Apressada* - repetiu ela. - Como é que você pode dizer que formamos um bom par baseado em apenas cinco encontros?

Dei uma risada, divertido. Aquela criança adorável aprendera bem suas lições.

-Minha querida - disse eu, dando um tapinha tolerante na sua mão - cinco encontros são o bastante. Afinal, não é preciso comer um bolo inteiro para saber se ele é bom ou não.

-*Falsa Analogia* - disse Polly prontamente. - Eu não sou um bolo, sou uma pessoa.

Dei outra risada, já não tão divertido. A criança adorável talvez tivesse aprendido sua lição bem demais. Resolvi mudar de tática. Obviamente, o indicado era uma declaração de amor simples, direta e convincente. Fiz uma pausa, enquanto meu potente cérebro selecionava as palavras adequadas. Depois comecei:

-Polly, eu a amo. Você é tudo no mundo para mim, é a lua e as estrelas, e as constelações no firmamento. Por favor, minha querida, diga que será minha namorada, senão minha vida não terá mais sentido. Enfraquecerei, recusarei a comida, vagarei pelo mundo aos tropeções, um fantasma de olhos vazios.

Pronto, pensei, está liquidado o assunto.

-*Ad Misericordiam* - disse Polly.

Correi os dentes. Eu não era Pigmalião: era Frankenstein, e o meu monstro me tinha pela garganta. Lutei desesperadamente contra o pânico que ameaçava invadir-me. Era preciso manter a calma a qualquer preço.

-Bem, Polly - disse, forçando um sorriso - não há dúvida que você aprendeu bem as falácias.

-Aprendi mesmo - respondeu ela, inclinando a cabeça com vigor.

-E quem foi que as ensinou a você, Polly?

-Foi você.

-Isso mesmo. E, portanto, você me deve alguma coisa, não é mesmo, minha querida? Se não fosse por mim, você nunca saberia o que é uma falácia.

-*Hipótese Contrária ao Fato* - disse ela sem pestanejar.

Enxuguei o suor do rosto.

-Polly - insisti, com voz rouca - você não deve levar tudo ao pé da letra. Estas coisas só tem valor acadêmico. Você sabe muito bem que o que aprendemos na escola nada tem a ver com a vida.

-*Dicto Simpliciter* - brincou ela, sacudindo o dedo na minha direção.

Foi o bastante. Levantei-me num salto, berrando como um touro.”

## **CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**

### **2.1 Bases Filosóficas da Pesquisa Científica**

Embora os estudantes de graduação só venham a se formar como cientistas praticando uma atividade de pesquisa, é importante que, antes de iniciarem tal prática, conheçam os princípios básicos que a regem. Tal conhecimento pode auxiliá-los a se tornarem conscientes da natureza e objetivos da ciência, e não meros técnicos e auxiliares de pesquisa. Os princípios básicos foram sendo fixados ao longo da história da ciência moderna, se tornando reconhecidos através da obra de filósofos, como F. Bacon, R. Descartes, D. Hume, I. Kant, R. Carnap, K. Popper, C. Hempel e I. Lakatos, entre outros.

Estudaremos neste capítulo os princípios que regem a pesquisa científica, desde a elaboração de um projeto, até a redação de monografias, destinadas a expor os resultados da pesquisa. Nossa ênfase será colocada nas operações práticas da pesquisa biológica, levando em conta certos aspectos do contexto em que se faz pesquisa, no Brasil.

As pesquisas científicas são motivadas por problemas, de ordem teórica e/ou prática. Um problema consiste em uma dificuldade que afeta a vida humana, ou um fato cuja ocorrência desperta a dúvida ou a curiosidade do pesquisador. A existência dos problemas antecede e dá sentido às pesquisas, que são feitas com o objetivo de solucioná-los. Uma solução para um problema teórico consiste em uma explicação de sua ocorrência, e a solução de um problema prático consiste na elaboração de técnicas ou tecnologias que permitam seu enfrentamento.

Em todas as profissões humanas, frequentemente surgem diversos problemas, cada um com suas características próprias e únicas, que desafiam nossa capacidade de ação. Para resolver estes problemas de modo eficaz e eficiente, o profissional terá que realizar pesquisas, mesmo que não esteja trabalhando em um ambiente específico de pesquisa, como cursos de pós-graduação, institutos ou laboratórios especializados. Neste sentido amplo, todos aqueles que trabalham de forma autônoma, nas mais diversas profissões, são pesquisadores.

A sociedade atual, que reúne grande contingente de pessoas em concentrações urbanas de grande porte, e mantém diversos canais de comunicação de massas, necessita realizar frequentemente diversos tipos de pesquisas. Por exemplo, no desenvolvimento de um novo produto por uma indústria são feitas pesquisas de materiais, de processos de transformação, e da procura daquele produto junto à população. Nos períodos eleitorais, são feitas pesquisas a respeito das preferências do eleitorado frente aos candidatos aos cargos públicos. Para se saber a dimensão do impacto ambiental das indústrias e outras atividades humanas, são feitas pesquisas geográficas e biológicas. Boa parte dos conhecimentos de que precisamos são gerados por pesquisas.

O *método científico* consiste em um caminho, ou roteiro, para assegurar máxima confiabilidade aos resultados de uma pesquisa. É claro que podemos realizar pesquisas sem obedecer ao método científico, ou mesmo sem obedecer a nenhum método (isto é, agir por "tentativa e erro"), mas, em ambos os casos, estaremos correndo maiores riscos, e não teremos como aferir a confiabilidade dos resultados. Esse tipo de situação não é desejável, em atividades que envolvem a vida humana, como a Medicina, a estabilidade dos ecossistemas, como a Engenharia Florestal, ou ainda quando há grande investimento de recursos, como, por exemplo, na investigação espacial. Portanto, em diversos ramos de atividade humana, passou-se a exigir que as pesquisas fossem feitas de forma científica, como um meio de assegurar maior confiabilidade aos resultados.

Alguns filósofos contemporâneos, como Feyerabend, questionam a existência de um único método científico. Será que diferentes indivíduos, ou diferentes grupos de pesquisadores, trabalhando cada qual em um ambiente diverso do (s) outro (s), não teriam diferentes maneiras de produzir ciência? A visão que apresentaremos aqui supõe que, apesar das diferenças de estilo e de condições de trabalho, os princípios básicos do método científico seriam basicamente os mesmos. Para clarificar a questão, procederemos a uma breve exposição da prática destes princípios:

a) as pesquisas científicas são feitas a partir de *problemas reais*, e têm o objetivo último de apresentar soluções para estes problemas;

b) a partir de uma coleta de dados, empíricos e ou bibliográficos, relativos ao problema que motiva a pesquisa, o pesquisador *induz* uma possível solução para o problema, que é chamada de *hipótese*;

c) para planejar experimentos (ou novas observações), que *testem*, de forma mais variada e exaustiva possível, a hipótese levantada, o pesquisador *deduz*, com auxílio de *hipóteses auxiliares*, uma série de *conseqüências da hipótese*;

d) cada conseqüência da hipótese dá origem a um *experimento* (ou uma nova observação), cada qual, respeitando-se os princípios da *repetição* e do *controle*, irá, por meio dos *resultados*, confirmar ou desconfirmar a hipótese;

e) com base no conjunto de resultados, o pesquisador realiza uma *discussão* ou interpretação, concluindo sobre o *grau de confiabilidade* da hipótese.

Da visão do método científico acima exposta, e que será tratada com detalhe em seguida, podemos concluir que o objetivo da ciência não seria, ao contrário do que muitas vezes se afirma, encontrar *verdades* (no sentido lógico, de correspondência entre proposições e fatos) sobre a natureza ou sobre o mundo humano. Mesmo que uma hipótese alcance um grau máximo de confiabilidade, com base nos resultados experimentais obtidos, isso não é suficiente para garantir sua verdade, como bem ressaltou Karl Popper, uma vez que os resultados obtidos são sempre em número *finito*, enquanto a aplicação das teorias, se verdadeiras, abrangeria um número *infinito* de casos possíveis. Mesmo que um cientista possua grau máximo de confiança em sua hipótese, novos resultados podem vir a derrubá-la. Desta forma, concluiu Popper, só podemos ter certezas a respeito de *falsidade* de hipóteses. Apesar desta conclusão, ele ainda acreditava que, ao longo do progresso científico, as teorias iriam, gradativamente, convergir para uma teoria final verdadeira. Mas como, no momento do presente, não temos condições de identificar quais proposições serão futuramente consideradas verdadeiras, esta concepção de convergência para a verdade não tem conseqüências práticas.

## **2.2 - Elaboração do Projeto de Pesquisa**

Atualmente as pesquisas científicas são realizadas em equipes, através de instituições, como universidades e institutos, ou em departamentos de empresas privadas. Os pesquisadores apresentam, antes do início dos trabalhos, um projeto que contém os principais dados a respeito da pesquisa a ser realizada. Com base neste projeto, a instituição em que trabalham, ou as instituições que têm a função de apoiar a pesquisa científica (ver item 2.6), poderão lhe fornecer o financiamento necessário para a realização da mesma. Nos dias atuais, é praticamente impossível, para um indivíduo, realizar sua pesquisa isoladamente, como chegou a ocorrer em séculos passados. O pesquisador necessita não só se inteirar dos resultados já obtidos por terceiros, dentro de sua área e linha de pesquisa, como também contar com o apoio de uma instituição e/ou das agências financiadoras, para que possa adquirir os recursos (equipamentos, material de consumo, serviços de terceiros) com os quais poderá dar andamento à pesquisa. Podemos então visualizar a importância da elaboração de um projeto de pesquisa de bom nível, pois este será o cartão de apresentação dos propósitos do pesquisador, o elemento que os pareceristas e avaliadores terão em mãos, para julgar se a pesquisa proposta merece ou não receber financiamento.

Em cada área científica, preexiste ao trabalho do pesquisador um corpo de teorias aceitas e de dados experimentais fidedignos, que não só delimitam a própria área de pesquisa, como também constituem um ponto de partida obrigatório. O pesquisador necessita se inteirar do "estado da arte" em sua área, no mínimo para não vir a repetir o que já foi feito por outros colegas. Os cursos de graduação familiarizam o estudante com os diversos campos de pesquisa de sua área, que são relacionados de uma ou outra maneira às disciplinas do curso. A possibilidade de se colocar um problema interessante, e de solucioná-lo, depende estreitamente do conhecimento que se tem em uma determinada área; portanto, o ponto de partida do pesquisador deve ser uma consulta, a mais extensa possível, da bibliografia concernente à sua área de interesse - no caso de trabalho em nível de graduação, o conhecimento mais exaustivo da bibliografia deve ficar por conta do orientador.

A ciência é, cada vez mais, nos dias contemporâneos, uma tarefa coletiva, para a qual cada indivíduo ou grupo contribui com uma parcela, que adquire pleno significado quando se insere no circuito de comunicações científicas (revistas especializadas, eventos científicos). Tal circuito, por sua vez, têm uma dinâmica interna, da qual o pesquisador

precisa participar, concordando ou discordando. De sua capacidade de trabalhar em tal contexto dependerão não só a atenção que os demais pesquisadores darão para seu trabalho, como também, usualmente, a obtenção de recursos financeiros de suporte à pesquisa.

Ao se elaborar um projeto de pesquisa, deve-se inicialmente definir o *tema* e o *problema* a serem estudados. O tema é aquilo sobre o que versa a pesquisa, e o problema é a dificuldade existente na área, que poderá ser solucionada através da obtenção de novos dados, de novas teorias, ou de novas técnicas. A escolha de um tema e de um problema é fruto de vários fatores: a importância de se encontrar uma solução, do ponto de vista sócio-econômico; as experiências que o indivíduo teve em seus estudos preliminares, e que lhe chamaram a atenção para um determinado ponto; a disponibilidade (ou não) de certos aparelhos de laboratório, na instituição onde será desenvolvida a pesquisa; certas lacunas no conhecimento de determinado assunto, já apontadas por outros pesquisadores, etc...O problema a ser estudado deve ser claramente formulado, e passível de ser solucionado, com os recursos disponíveis. Todo problema aponta para algo ainda não conhecido; é preciso que haja uma proporção aceitável entre aquilo que se conhece e aquilo que se desconhece sobre o tema, de modo que seja possível encontrar uma linha de raciocínio que vá do conhecido ao desconhecido.

Um projeto de pesquisa deve conter as seguintes partes:

1) *Introdução*: exposição do tema e do problema escolhidos, e da motivação que levou a esta escolha;

2) *Justificativa*: qual a importância da pesquisa para a área e a linha na qual ele se insere, fazendo-se referência aos trabalhos já realizados por terceiros;

3) *Objetivo*: que resultados se almeja obter, e em que medida estes resultados podem contribuir para a solução do problema;

4) *Materiais e Métodos*: os "materiais" são aquilo que será estudado na pesquisa (o tipo de ser, ou sistema, com especificações de espaço e tempo, amostras a serem analisadas, etc...) e aquilo que será gasto na realização do estudo; os "métodos" se referem



às técnicas específicas que serão utilizadas para a coleta, transformação e/ou análise matemática dos dados (ou seja, não se trata aqui do método científico em geral, que já é pressuposto em toda pesquisa, mais sim das metodologias particulares a serem utilizadas);

5) *Cronograma de Atividades*: especificação das atividades a serem desenvolvidas durante a pesquisa, com as respectivas durações previstas;

6) *Interpretação dos Resultados*: caso os resultados almejados sejam obtidos, como o pesquisador os interpretará, relativamente ao problema proposto;

7) *Bibliografia*: lista das principais obras publicadas sobre o assunto de pesquisa.

Tendo formulado um projeto que contenha todos estes itens, e conseguindo o financiamento da pesquisa, esta poderá ter início através da formulação de uma hipótese.

### **2.3 - A Descoberta da Hipótese**

Uma hipótese é uma candidata a se tornar uma solução do problema formulado. Muitas vezes, quando formulamos um problema, ainda não temos uma idéia definida da solução que poderemos encontrar para ele. O que fazer para evocá-la? Segundo alguns estudiosos do processo científico, como Popper, pouco há para se fazer, em termos operacionais, pois o processo de descoberta depende de complexas operações mentais, que não temos condições de controlar.

Tal visão do processo de descoberta de hipóteses encontra apoio em certos episódios de história da ciência, onde algumas idéias geniais surgiram aparentemente sem a necessidade de um grande esforço de observação prévio direcionado para o problema. São casos em que cientistas tiveram poderosos "insights", em situações cotidianas, como ao tomar banho ou ao acordar de uma noite bem dormida. Nestes casos, a origem da idéia inovadora seria creditada a um processo psicológico, em que a "massa cinzenta" privilegiada destes indivíduos geniais os teria provido de soluções para difíceis problemas. Em outros casos, as descobertas seriam fruto de um "acaso", ou seja, os cientistas estavam procurando uma coisa e acabaram encontrando outra, às vezes até de maior importância. O exemplo clássico aqui é o de Pasteur, que estava estudando a ação dos microorganismos

sobre a saúde dos animais, injetando bacilos em galinhas. Seu sobrinho, auxiliar de pesquisa relapso, esqueceu-se de inocular os bacilos antes de uma pequena viagem de férias, só vindo a fazê-lo dias depois. As galinhas nas quais estes bacilos foram inoculados, ao invés de ficarem doentes como aquelas inoculadas com bacilos frescos, adquiriram imunidade à doença, o que levou Pasteur a descobrir o princípio da vacina.

Por outro lado, diversos autores contemporâneos defendem existir uma série de procedimentos, utilizados pelos cientistas, que, se não garantem a obtenção da hipótese ideal, ao menos fornecem subsídios para enriquecer a criatividade da mente humana, e, ao mesmo tempo, evitar hipóteses fantasiosas. Estes procedimentos são:

a) *Observação Sistemática, com Registro de Dados*: acompanhar sistematicamente o comportamento do objeto de estudo, e registrar os dados respectivos a ele, fazendo-se controle das condições "naturais" a que está submetido; avaliar se a forma de coleta de dados interfere, e em que grau, no comportamento do objeto estudado;

b) *Análise do Problema*: identificar os elementos constituintes da situação-problema; estudá-los separadamente, e, posteriormente, reconstruir a situação-problema na forma de uma descrição pormenorizada, na qual sejam explicitadas as inter-relações, entre os elementos constituintes, que forem relevantes para elucidar o comportamento do objeto como um todo;

c) *Quantificação*: quando for o caso, fazer medição de valores e estabelecer relações numéricas, entre as variáveis que expressam os fatores componentes da situação-problema.

d) *Realização de Experimento-Piloto*: montar um experimento, de maneira simplificada, que reproduza o comportamento padrão do objeto estudado. Proceder a uma variação artificial das condições, e observar as alterações do comportamento do objeto, resultante das variações de condições, ou obter uma combinação de condições que produza o fenômeno a ser explicado. Através deste experimento, pode-se obter novas idéias a respeito do assunto estudado, mas não se deve confundir tal tipo de experimento com os experimentos feitos para se testar uma hipótese.

e) *Raciocínio Indutivo*: se, em determinado número de casos observados, verificou-se que existe uma correlação entre a variação de determinadas condições e certas alterações do comportamento do objeto, então deve existir uma relação causal entre ambas, i.é., toda vez, ou na maior parte das vezes, que ocorrer tal variação de condição, o objeto terá tal comportamento.

Tendo realizado os cinco passos metodológicos acima, é provável que se tenha obtido uma hipótese, que constitui uma possível resposta para o problema. Resta, agora, realizar testes para avaliar o grau de confiabilidade desta hipótese, iniciando-se então o processo de teste da hipótese. O teste procura responder a interrogações como: porque tal hipótese e não outra? Vale a pena apostar na sua eficácia, em diversas aplicações práticas que ela pode vir a ter, inclusive quando estas aplicações envolvem investimentos econômicos, e/ou risco de vida?

#### **2.4 - Teste de Hipóteses**

Uma mesma pergunta pode ser respondida de diversas maneiras; inclusive, às vezes, negando-se a validade da pergunta. Da mesma forma, o tipo de justificação a ser encontrado para uma hipótese depende do tipo de hipótese, ou melhor, do tipo de explicação que a hipótese oferece para o fenômeno em questão. O tipo de explicação mais freqüente na atividade científica é a explicação causal, na qual um certo fenômeno é explicado como sendo o efeito de uma certa causa. Evidentemente, alguém poderia perguntar sobre as causas das causas, e, assim, retroceder infinitamente na cadeia causal. Este é um problema que já foi levantado pelos filósofos. Na pesquisa científica, geralmente o estudioso se dá por satisfeito em encontrar as *causas imediatas* do fenômeno em questão, cuja explicação constitui o seu problema particular.

Por motivo de simplificação, iremos apresentar um esquema do teste da hipótese baseado no caso da explicação causal. O leitor fica advertido que, nas biociências, existem outros tipos de explicação (ver nosso item 4.4), freqüentemente utilizados. No caso de hipóteses que contêm outros tipos de explicação, o esquema da justificação deverá sofrer alterações que se adequem a elas. Pode-se, também, tentar traduzir os outros tipos de explicação para uma explicação causal, permitindo a utilização deste esquema, que funciona como um tipo-padrão de justificação.

Nas épocas em que não existem grandes mudanças teóricas, é desejável que a hipótese nova possa se apoiar nos conhecimentos já aceitos pela comunidade, gerando uma linha de continuidade no trabalho científico. O apoio pode tomar a forma mais rigorosa de um argumento dedutivo, no qual as teorias e dados preexistentes funcionam como premissas. Quando o grau de inovação da hipótese em relação ao conhecimento anterior for considerável, procura-se então um apoio mais fraco, mostrando-se que a hipótese não conflita com as teorias e dados aceitos, ou ainda que o conhecimento preexistente aponta para ela de alguma maneira.

A hipótese a ser testada, que chamamos de *hipótese principal*, em conjunção com as teorias e os dados preexistentes, que chamamos de *hipóteses auxiliares*, gera uma série de *conseqüências*, que precisam ser levantadas, para se realizar o teste. Quanto maior o número de conseqüências assim extraídas da hipótese principal, maior o número de experimentos que poderão ser realizados. Cada conseqüência extraída da hipótese deve ser confrontada com o *resultado* de um experimento, especialmente planejado para este fim. De acordo com uma regra lógica chamada *contraposição*, se uma das conseqüências necessárias da hipótese for falsa, então, se as hipóteses auxiliares forem verdadeiras e a dedução estiver correta, a hipótese principal será falsa. Com base em cada conseqüência da hipótese, fazemos a previsão do resultado de cada experimento. Realiza-se o experimento, e então procede-se à conferência do resultado obtido, com aquilo que foi previsto com base na hipótese. Se não houver adequação, então: ou a conseqüência da hipótese é falsa, ou o experimento, foi mal conduzido. Quando ocorre disparidade entre a previsão e o resultado de várias repetições do experimento então o mais provável é que o defeito esteja na hipótese.

Um exemplo bastante simples: suponhamos que nosso problema seja definir o que cultivar, para fins comerciais, e sem emprego de grande quantidade de adubo, na região de Botucatu? A hipótese, que é uma resposta a esta questão, poderia ser: “A região de Botucatu é propícia para o cultivo de café”. Tomando tal hipótese como premissa, e outras informações disponíveis como hipóteses auxiliares, iremos extrair conseqüências a serem testadas. Neste exemplo, extrairemos duas conseqüências, por meio das deduções abaixo:

#### *Dedução 1*

P1: Hipótese: A região de Botucatu é propícia para o cultivo do café

P2: Hipótese Auxiliar 1: Uma região propícia para o cultivo de café tem o solo rico em nitrogênio

C: Conseqüência 1: O solo de Botucatu é rico em nitrogênio.

### *Dedução 2*

P1: Hipótese: A região de Botucatu é propícia para o cultivo do café

P2: H. Auxiliar 2: Uma região propícia para o cultivo do café tem o solo rico em húmus

C: Conseqüência 2: O solo de Botucatu é rico em húmus

Pode-se, agora, testar a hipótese, a partir de suas conseqüências. O planejamento experimental para se testar a conseqüência 1 consiste em uma análise química de amostras, criteriosamente retiradas, do solo de Botucatu, enquanto o planejamento experimental para se testar a conseqüência 2 consiste em uma análise bioquímica destas mesmas amostras, verificando-se o nível de húmus. Ambos os resultados devem ser avaliados por meio de tabelas já elaboradas, que relacionam o crescimento e a produtividade de café, com os níveis de nitrogênio e húmus. As previsões de resultados dos experimentos, com base na hipótese, seriam:

Previsão 1 - O solo de Botucatu é rico em nitrogênio

Previsão 2 - O solo de Botucatu é rico em húmus

Suponhamos que os resultados obtidos sejam os seguintes:

Resultado 1 - O solo de Botucatu é pobre em nitrogênio

Resultado 2 - O solo de Botucatu é rico em húmus

Procede-se então à comparação entre previsões e resultados. No experimento 1, a hipótese foi desconfirmada, enquanto no experimento 2 ela foi confirmada. Passamos, finalmente, à discussão e interpretação dos resultados, relativamente ao problema levantado e à hipótese proposta. Observamos que a hipótese foi confirmada em parte, e

desconfirmada em outra parte. Para se cultivar o café na região de Botucatu, com fins comerciais, será necessário acrescentar nitrogênio ao solo. Se este tipo de enriquecimento do solo for viável, sem a necessidade de vultosas operações de adubação, pode-se continuar trabalhando com a hipótese, mas se o acréscimo de nitrogênio for inviável, a hipótese deve ser abandonada, ou drasticamente corrigida. Os resultados obtidos só devem ser publicados se constituírem uma contribuição relevante para o problema levantado. No caso de publicação, deve-se ressaltar que os resultados obtidos no exemplo não são suficientes para uma avaliação definitiva da hipótese, em termos de aprovação ou reprovação, destacando-se que novos testes devem ser realizados, para aferir outras propriedades do solo de Botucatu, e, também, outros fatores, além do solo, que influenciam o crescimento e produtividade do café.

Uma orientação precisa para a realização de trabalhos experimentais, especialmente quanto às técnicas de análise dos dados, não é normalmente dada pela Filosofia da Ciência, mas por disciplinas complementares, como Planejamento Experimental e Análise Estatística. Estudaremos, aqui, os princípios básicos envolvidos no teste de hipóteses, tomando como modelo uma hipótese do tipo causal, isto é, que estipula uma relação de causa e efeito. O teste deve ser feito nas diversas condições diferentes que forem relevantes, examinando as seguintes alternativas:

a) O efeito ocorre na presença da causa?

Sim: hipótese confirmada; Não: desconfirmada.

b) O efeito não ocorre na presença da causa?

Sim: hipótese desconfirmada; Não: confirmada

c) O efeito ocorre na ausência da causa?

Sim: hipótese desconfirmada; Não: confirmada.

d) O efeito não ocorre na ausência da causa?

Sim: hipótese confirmada; Não: desconfirmada

Em termos práticos, o teste das quatro alternativas acima equivale à realização de dois experimentos, o *experimento principal* e o de *controle*. No primeiro, testa-se o

sistema com a presença da causa que hipoteticamente gera o efeito, e, no segundo, testasse, nas mesmas condições, o sistema sem a causa em questão. O papel do experimento de controle é o de certificar se o efeito obtido deve-se efetivamente à presença da causa proposta, e não a algum outro fator, interno ou externo ao sistema.

Dois novos exemplos poderão ilustrar a importância do experimento de controle, e também da diversificação do espaço amostral, através da repetição do experimento com diferentes espécies. O primeiro exemplo consiste em um caso clássico da história da fisiologia humana, quando se tentava explicar cientificamente a presença conjunta do alimento no estômago, e das enzimas necessárias para digeri-lo. Este fenômeno tem grande importância biológica, pois tanto a presença do alimento sem as enzimas, quanto a presença das enzimas sem o alimento, são danosas para a digestão, nos animais. Procurou-se, então, descobrir como a presença do alimento no estômago regulava a secreção pancreática, que fornecia tais enzimas de digestão. A primeira hipótese formulada foi que a secreção pancreática seria controlada pela presença do alimento no estômago, através de um estímulo nervoso. Duas consequências se seguem imediatamente desta hipótese:

Consequência 1 : A presença do alimento no estômago gera um estímulo nervoso.

Consequência 2 : O estímulo nervoso desencadeia a secreção pancreática

No planejamento experimental, foram realizados dois experimentos, o principal e o de controle, para testar cada consequência de hipótese, totalizando quatro experimentos:

*Teste da Consequência 1:*

Experimento principal: colocar alimento no estômago, e verificar a presença do estímulo;

Experimento de controle: observar se ocorre o estímulo sem a presença do alimento.

Teste da Consequência 2:

Exp. principal: dar o estímulo artificialmente, e verificar se ocorre a secreção;

Exp. controle: observar se a secreção ocorre sem o estímulo, para tal seccionando-se os terminais nervosos entre o estômago e o pâncreas, e colocando-se o alimento no estômago.

As previsões de resultados, com base na hipótese, eram:

EP1: ocorre o estímulo

EC1: não ocorre o estímulo

EP2: ocorre a secreção

EC2: não ocorre a secreção

Os resultados obtidos, e suas respectivas implicações para a hipótese, foram:

EP1: ocorreu o estímulo → hipótese confirmada

EC1: não ocorreu o estímulo → hipótese confirmada

EP2: ocorreu a secreção → hipótese confirmada

EC2: ocorreu a secreção → hipótese desconfirmada

Na discussão e interpretação destes resultados, foi levantado que, se a secreção pancreática ocorria mesmo com o seccionamento das vias nervosas, como o estímulo nervoso foi confirmado como uma das causas geradoras da secreção do pâncreas para o estômago, então deveria haver um outro meio pelo qual o estômago comunica ao pâncreas a presença do alimento. Em termos evolutivos, esta duplicidade de canais é explicável como facilitadora da sobrevivência dos animais, pois, como se trata de uma função vital, no caso de bloqueio de um dos canais, a função continuaria a ser desempenhada pelo outro canal. Posteriormente descobriu-se que este controle também ocorria por meio de sinais químicos na corrente sanguínea, levando à correção da hipótese, que veio a se tornar a teoria do duplo controle da secreção pancreática. Ressaltamos, neste experimento, que todo esse avanço se tornou possível através da realização do experimento controle 2, no qual se verificou que, apesar do estímulo nervoso ser *suficiente* para desencadear a secreção pancreática (vide experimento principal 1), não era *necessário*, uma vez que a secreção ocorreu mesmo em sua ausência.



Um novo exemplo, desta vez fictício, poderá ilustrar a importância da repetição do mesmo experimento, para espécies biológicas diferentes, abrangendo, desta maneira, uma maior diversidade amostral. Suponhamos que um biólogo estudioso do comportamento animal estivesse preocupado em encontrar uma explicação geral para as mudanças de cores dos animais. Após algumas observações preliminares, ele formulou a hipótese de que a mudança de cores constitui um comportamento de defesa dos animais, frente à presença de predadores. Desta hipótese, ele extraiu três conseqüências:

C1: Os predadores dos animais que mudam de cores se orientam pela percepção visual;

C2: As cores que os animais adotam, após a mudança, são semelhantes às cores do meio em que se situam no momento da predação;

C3: Há uma conexão neurofisiológica entre a percepção do predador, e o mecanismo que controla a mudança de cores.

Estas conseqüências dão origem a três experimentos, inicialmente realizados para uma única espécie e seus respectivos predadores:

E1: Sensibilidade visual dos predadores à mudanças de cores;

E2: Estudo comparativo no "habitat" da espécie;

E3: Testes fisiológicos, com indivíduos da espécie.

Os resultados obtidos, para esta primeira espécie, seriam:

R1: Há sensibilidade à mudanças de cores, nos predadores;

R2: Há semelhança entre as cores adotadas pelos animais, e as cores predominantes no meio em que se situam;

R3: Há conexão fisiológica entre a percepção do predador e a alteração de cores.

A interpretação que se impõe, sem necessidade de maiores discussões, é que a hipótese foi confirmada, com relação à espécie enfocada. Porém, a abrangência da hipótese é bem mais ampla, pois ela almeja encontrar uma explicação geral para a mudança de cores dos animais. É necessário, portanto, que os experimentos sejam repetidos para espécies diferentes. Suponhamos que, para um segunda espécie, cujo

comportamento tem como uma de suas características a mudança de cores, os seguintes resultados sejam obtidos:

R1: Não há sensibilidade à mudança de cores, nos predadores;

R2: Não há semelhança entre as cores adotadas pela animal, e as cores predominantes no meio;

R3: Não há conexão fisiológica, entre o mecanismo de percepção sensorial do animal, e o mecanismo de mudanças de cores.

A repetição para uma espécie diferente leva, neste caso, a uma desconfirmação da hipótese. Conclui-se que tal hipótese não pode ser a única explicação do fenômeno em questão, embora seja uma das explicações da mesma, conforme os resultados obtidos para a primeira espécie. Além desta razão apontada, devem existir outros fatores que influenciam a mudança de cores dos animais. Uma possibilidade é que ocorram mudanças de cores durante a cômte realizada pelos machos, com fins reprodutivos. Esta hipótese pode se basear na teoria darwiniana de seleção sexual, segundo a qual as características morfológicas de origem genética, que desempenham papel relevante no comportamento reprodutivo de uma espécie, tendem a ser perpetuadas nos seus descendentes. Caso se pretenda ainda dispor de uma hipótese geral, então a primeira hipótese levantada deve ser reformulada, passando a incluir também a mudança de cores devida à seleção sexual. Novos testes devem ser feitos, para se comprovar esse novo fator explicativo, assim como para apurar se não existiriam ainda outros fatores.

Na interpretação dos resultados, trata-se de avaliar o grau de confiabilidade da hipótese, com base em seu desempenho nos testes experimentais. Se a hipótese tem a forma de uma proposição universal, a obtenção de um único caso discordante, nos testes, é suficiente para "falsificá-la", ou seja, reduzir a zero o seu grau de confiabilidade; se tem a forma de uma proposição particular, apenas uma proporção elevada de casos discordantes pode diminuir o seu grau de confiabilidade. No caso de hipótese probabilísticas, a relação entre causa e efeito é vaga (a ocorrência da causa apenas aumenta a probabilidade do efeito, mas não determina necessariamente sua ocorrência), o que dificulta a interpretação dos resultados; quando a hipótese estabelece uma distribuição estatística dos fenômenos, então uma convergência com a distribuição obtida nos resultados aumenta o grau de confiabilidade da hipótese, e uma divergência diminui a confiabilidade.

Como já dissemos anteriormente, os resultados de testes experimentais não podem garantir que uma hipótese seja verdadeira ou falsa, pois as hipóteses científicas sempre se referem a um número infinito de fenômenos, i.é., à classe de todos os fenômenos de um determinado tipo, da qual os fenômenos gerados experimentalmente constituem um pequeníssimo subgrupo. Portanto, o que está em jogo na experimentação é apenas uma modificação de nossa expectativa em relação à hipótese, ou seja, uma variação de seu grau de confiabilidade, relativo à nossa expectativa anterior ao teste. Quando nos referimos a uma teoria e/ou a afirmações sobre dados muitas vezes comprovados, costumamos dizer que são "verdadeiros", no sentido de que, ao longo das diversas vezes em que foram testados, o grau de confiabilidade tendeu ao máximo. Porém, no futuro, estas teorias e/ou dados poderão ser refutados, com base em novos tipos de experimentos, exigindo reformulações, ou até o seu abandono. Em tal contexto, podemos, contudo, utilizar o saldo da experiência passada. Por exemplo, uma proposição universal "falsificada" pode vir a se tornar uma hipótese probabilística bem confirmada, especialmente em área como a biológica, onde, em sua maioria, as "leis" que conseguimos estabelecer não tardam a encontrar exceções.

## **2.5 A Redação de Trabalhos Científicos**

Um texto científico deve apresentar, com o máximo de clareza, objetividade e rigor, os resultados obtidos pela pesquisa, e sua importância para a área da ciência na qual se insere. A ordem de exposição do tema, no texto, pode não coincidir com a ordem do desenvolvimento da pesquisa, pois a primeira deve ser a logicamente mais adequada para o entendimento do leitor, não podendo refletir as marchas e contramarchas do processo real de pesquisa.

Chama-se de *monografia científica* a um texto dedicado à exposição de um único tema de pesquisa, em um único enfoque metodológico. Uma monografia deve conter pelo menos as seguintes partes:

a) *Introdução*: expõe o estado dos conhecimentos na área, o problema abordado e a importância da realização da pesquisa; os objetivos do autor em seu trabalho; a hipótese central defendida pelo autor, as motivações que conduziram a sua formulação;

b) *Desenvolvimento*: geralmente contém as seguintes partes:

b.1) *Revisão Bibliográfica*: citação seletiva do conjunto de textos cuja consulta foi necessária para a realização da pesquisa

b.2) *Materiais*: especificação dos componentes do sistema estudado, e da forma como foram obtidos os dados a ele relativos

b.3) *Métodos* (geralmente são apresentados junto com os materiais, sob a rubrica "Materiais e Métodos"): exposição da forma utilizada para a experimentação e tratamento dos dados, especialmente dos métodos matemáticos e/ou estatísticos, quando for o caso

b.4) *Resultados*: descrição dos novos dados obtidos, através da metodologia adotada

b.5) *Discussão dos Resultados*: o encadeamento de raciocínios, elaborados a partir dos dados novos obtidos, e/ou dos testes experimentais, se possível com ilustrações gráficas, mostrando de que maneira a hipótese proposta satisfaz ao problema em questão; mostrar as outras alternativas possíveis, e justificar porque a solução adotada é a mais satisfatória

c) *Conclusão*: balanço sucinto dos resultados atingidos, ressaltando sua adequação ou não aos objetivos do trabalho; comparação destes resultados com propostas de outros autores e, eventualmente, crítica dos mesmos; levantamento das suas conseqüências teóricas e/ou das aplicações práticas.

d) *Bibliografia*: as referências bibliográficas devem ser feitas segundo normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

## **2.6 - Organização Institucional da Pesquisa**

Além de se preocupar com o andamento da pesquisa, todo cientista deve ainda administrar a parte econômica e política de seu trabalho. A pesquisa científica atualmente ocorre em *instituições*, envolvendo um grupo de pessoas, e a alocação de recursos físicos, que precisam ser gerenciados, de uma forma semelhante à administração de uma empresa. Esta organização institucional possui uma hierarquia de poder, que está relacionada com o papel desempenhado por cada pessoa no contexto da pesquisa.

Comparando esta hierarquia com uma pirâmide, observamos a seguinte estratificação social da comunidade científica. No topo da pirâmide, encontra-se o Chefe de Pesquisa, aquele cientista que organizou, ou herdou, a linha de pesquisa. Ele tem a responsabilidade de elaborar hipóteses a serem testadas, e orientar a interpretação dos resultados, elaborar projetos a serem submetidos às agências financiadoras; selecionar os novos integrantes do grupo (alunos de iniciação científica e pós-graduação, funcionários); divulgar os resultados por meio de publicações e congressos, e participar, como membro ativo, das sociedades científicas por área de conhecimento. Logo abaixo do chefe de pesquisa, encontram-se outros pesquisadores, que tem um papel menor, na elaboração de idéias novas e gerenciamento do grupo, mas têm um papel maior como *divulgadores* dos resultados, e da visão científica que emana do trabalho do grupo. Incluem-se nessa categoria os assistentes de pesquisa, os professores universitários cuja dedicação principal é o ensino, os autores de livros didáticos, e artigos de divulgação da ciência, para um público amplo. Em seguida, encontramos aquelas pessoas cuja função no grupo de pesquisa é eminentemente *técnica*, se dedicando aos trabalhos de laboratório, de campo ou de informática, sem possuírem um conhecimento aprofundado a respeito das idéias centrais que estão em jogo nas pesquisas realizadas. Na base da pirâmide, estão situados todos aqueles que são apenas *consumidores* do conhecimento científico, como a ampla maioria dos alunos de 2º grau e universitários, que tem acesso aos produtos finais de pesquisa, sem deter nenhum conhecimento a respeito do modo de produção deste conhecimento.

Toda esta "comunidade científica" transita em torno de *instituições científicas*. No Brasil, as principais instituições de pesquisa e divulgação científica tem sido as universidades e institutos estatais; em outros países, sabemos que grande parte da pesquisa é feita em instituições privadas, ligadas a empresas, que financiam a pesquisa com vistas a aplicar seus resultados em novas tecnologias, que incrementam o valor de seus produtos no mercado. Neste contexto, surgiram recentemente novas características da política científica, que são o *segredo* a respeito das pesquisas, e de resultados de interesse comercial, e o *patenteamento* de resultados de pesquisas, com vistas a seu uso exclusivo pelos descobridores, ou então a cobrança de "royalties" por seu uso.

O intercâmbio e a crítica entre os cientistas se fazem por meio das *publicações*, e dos *congressos e encontros científicos*. As revistas científicas possuem um corpo editorial e um corpo de pareceristas, que avaliam, sugerem alterações e corrigem os trabalhos enviados para publicação. Os periódicos cobrem uma determinado área de pesquisa, funcionando como um filtro seletivo, a respeito daquilo que deve ser considerado relevante e passível de divulgação, naquela área. Existem basicamente dois tipos de congressos científicos, os congressos gerais e os congressos por área, que são organizados pelas respectivas sociedades científicas. No Brasil, há um congresso geral anual de grande tradição, organizado pela maior e mais influente sociedade científica, que é a SBPC (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência). Ao lado deste grande congresso, ocorrem, também anualmente, ou bi-anualmente, congressos por área, como, por exemplo, congressos da Sociedade Brasileira de Genética, um dos mais concorridos da área biológica. Já os Encontros e similares (Colóquios, Reuniões, Seminários, etc...), ocorrem com periodicidade menos rígida, e são frequentemente destinados à discussão de determinados temas.

O grande público toma conhecimento dos trabalhos científicos através de Seções de Ciência na grande imprensa, programas audiovisuais de divulgação científica (como, por exemplo, as séries produzidas pela BBC de Londres, e veiculadas no Brasil pelas TVs Cultura, de São Paulo, e Educativa, do Rio de Janeiro), ou por meio de publicações especializadas em divulgação científica (no Brasil temos, atualmente, as revistas Ciência Hoje, e Ciência Hoje das Crianças, da SBPC, e as revistas Super-Interessante e Globo Ciência).

Entende-se por política científica a elaboração e discussão das diretrizes a respeito da alocação de verbas para a pesquisa. Os principais componentes deste jogo, no Brasil, são o governo federal, as agências financiadoras federais, os governos estaduais que destinam verbas para a pesquisa, as agências financiadoras estaduais, e os líderes da comunidade científica, reitores e diretores de sociedades científicas. O Jornal da Ciência Hoje, publicado quinzenalmente pela SBPC, tem se firmado como o veículo de discussão de política científica no Brasil. As principais agências financiadoras em atividade são:

*CNPq* - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Entidade Federal, ligada à Secretaria de Planejamento - financia várias modalidades de pesquisa.

*CAPES* - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Entidade Federal, pertencente ao Ministério da Educação e do Desporto - voltada para o financiamento de pesquisas dos docentes do ensino superior.

*FINEP* - Financiadora de Estudos e Projetos - Entidade Federal, com sedes em SP e RJ, gestora do FNDCT (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), que é vinculado à Secretaria de Ciência e Tecnologia do governo federal. Possui linha de financiamento de pesquisas realizadas em instituições privadas.

*FAPESP* - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo - a primeira e maior agência de âmbito estadual, possui ampla linha de financiamento. Outros estados também vieram a criar suas "FAPs", como o Rio de Janeiro (FAPERJ) e Minas Gerais (FAPEMIG).

Esperamos deixar claro que todos aqueles que pretendem se dedicar à pesquisa, devem procurar conhecer melhor a organização da instituição onde estudam ou trabalham, assim como os mecanismos de política científica, para que consigam vir a encontrar os meios de sustentação de seus futuros projetos e linhas de pesquisa.

## CAPÍTULO 3 - HISTÓRIA DA BIOLOGIA

### 3.1 - A Importância da Perspectiva Histórica

Alguns anos atrás, vários professores de ciências perceberam que o estudo do passado das ciências poderia ser útil para que os alunos, que se tornarão os cientistas do futuro, melhor compreendessem a ciência do presente. Porque será que eles chegaram a esta conclusão? Primeiramente, porque devem ter notado, a partir de sua própria experiência, que diversos conceitos e teorias atuais, de difícil entendimento, se tornaram mais apreensíveis, quando se veio a conhecer os conceitos e teorias, mais intuitivos, que os procederam. Isto provém do fato de que muitas vezes a ciência progride por intermédio de sucessivas correções, vindo a construir teorias mais sofisticadas (geralmente mais abstratas) que consigam dar conta de fenômenos não explicados pelas teorias precursoras.

Além do aspecto didático acima, existem outras contribuições do estudo da história das ciências, para a formação de cientistas. A razão mais evidente é que a ciência é um processo histórico, e não uma coleção de resultados definitivos. Muito do que se acreditava na ciência do Séc. XIX, foi corrigido ou eliminado na ciência do Séc. XX, e muito do que acreditamos agora certamente ficará em segundo plano no próximo século. É preciso que o aluno perceba o movimento da ciência, e, de alguma maneira, venha progressivamente a fazer parte dele, ao invés de se colocar como mero consumidor dos resultados obtidos por terceiros. Assim, a ciência lhe aparecerá menos como um somatório de conhecimentos, conduzindo a uma verdade definitiva, que um processo de correção e aperfeiçoamento permanentes.

Uma visão histórica da ciência foi proposta pelo historiador e filósofo da ciência Thomas Kuhn, em seu famoso livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Kuhn pensou as teorias científicas como partes de uma totalidade, que chamou de *paradigma*. Os paradigmas incluem, além das teorias, exemplos e aplicações práticas da teoria, modalidades de observação e experimentação (técnicas), tipos de instrumentos, uma certa visão de mundo, ou ideologia, do grupo de pesquisa, e uma dada estrutura de poder, ou hierarquia, do grupo. Historicamente, a ciência seria uma atividade realizada por grupos ou comunidades científicas, que compartilham um determinado paradigma, e competem com outros grupos, que adotam diferentes paradigmas.



Kuhn chamou de *ciência normal* às atividades de pesquisa que são realizadas no interior de um determinado paradigma. Estas atividades tendem a ser repetitivas, pois cada paradigma estabelece condições gerais de pesquisa, proporcionando como que uma "produção em série" de resultados, onde as variações muitas vezes ocorrem apenas no objeto pesquisado (por exemplo, um citologista que usa uma mesma técnica para estudar a membrana celular em diferentes espécies, apresentando cada um destes resultados como provenientes de uma pesquisa diferente). No contexto da ciência normal, os casos que não se adequam ao paradigma vigente são interpretados como meras exceções, que não implicariam na mudança da regra. Os indivíduos que ousam desafiar tal regra são ignorados, ou afastados do grupo, pois ameaçam a hierarquia de poder ali instalada. Os paradigmas apresentam forte tendência inercial, pois é através de sua vigência que os chefes de pesquisa chegaram, e se mantêm, em posição de destaque no meio científico; além disso, consideráveis esforços foram dedicados, por estas pessoas e seus associados, no sentido de constituir uma equipe trabalhando em tal linha de pesquisa, e dotá-la dos recursos necessários para o desenvolvimento da pesquisa (equipamentos, apoio institucional, etc...).

Não obstante a tendência à conservação dos paradigmas, eventualmente ocorrem as *crises científicas*, nas quais, para um determinado paradigma, o número de exceções e casos irresolvidos crescem, tornando evidente a necessidade de uma nova regra - um novo paradigma - capaz de dar conta não só dos casos antigos, como também dos desafiantes casos novos. Em tais situações de crise, podem ocorrer revoluções científicas, que Kuhn entende como mudanças bruscas de paradigma, em uma determinada comunidade científica. As revoluções científicas envolvem diversos aspectos, além da queda de certas teorias, e a emergência de outras, no plano da aceitação, pela comunidade científica. Eles envolvem também mudanças na hierarquia de poder nas instituições científicas, mudanças nas modalidades de observação e experimentação, inclusive em termos de equipamentos, ou seja, afinal, uma mudança de visão de mundo, que se correlaciona e tem implicações para com mudanças históricas mais amplas, envolvendo a tecnologia, e seu impacto na economia e na cultura.

Deparamo-nos aqui com mais um motivo para estudar a história das ciências, que é a relação existente entre ciência e a história social. A ciência não só influencia a

sociedade, como é influenciada por ela. Esta é a chave para se entender porque certas áreas de pesquisa são mais incentivadas, e se desenvolvem mais em certos períodos, enquanto outras áreas, mesmo apresentando resultados relevantes, não são objeto de grande interesse, por longos períodos. No estudo de história da ciência, este desenvolvimento desigual das ciências, e das áreas científicas, se torna inteligível, permitindo-nos entender os interesses que afetam a atividade científica, oriundos da sociedade na qual a comunidade científica está inserida. Vindo a entender os laços existentes entre a atividade científica, a tecnologia, a economia e a cultura, os cientistas poderão reformular suas expectativas de modo mais realista, e terão subsídios para uma melhor apresentação de seus resultados. Muitas vezes, na conclusão de uma monografia científica, ou na justificativa de um projeto de pesquisa, sentimos a falta de comentários do autor, sobre as aplicações que seu trabalho poderia ter, para a solução de problemas que afetam a sociedade; esta deficiência pode provir da falta de uma perspectiva histórica da ciência.

A imagem da ciência, que é passada nos cursos secundários e de graduação, ajuda muitas vezes a formar a idéia de que a História da Ciência é uma sucessão de descobertas e elaboração de teorias, que se somam umas às outras, fazendo crescer mais e mais o montante do conhecimento humano. A Ciência, como um conjunto de conhecimentos seguros e certos, capazes de serem provados experimentalmente, despontaria então, em meio à confusão de opiniões do senso comum, como uma luz entre as trevas, capaz de tirar a espécie humana de uma situação de desorientação e privação, impulsionando-a no processo de desenvolvimento tecnológico. Tal imagem por certo corresponde, em parte, à própria história da humanidade nos últimos séculos, mas expressa uma certa ingenuidade frente ao que efetivamente ocorre, tanto na história do conhecimento, quanto na história social. Uma crítica a esta imagem se faz necessária, para que se tenha em conta outros aspectos do processo através do qual a ciência é produzida, que transcendem as questões conceituais e de metodologia, que foram aqui tratadas até o momento.

Os analistas da história das ciências distinguem dois tipos de análise da atividade científica, o "internalista", no qual são tratados os elementos próprios da prática científica, como teorias, experimentos, conceitos-chaves, etc..., e o "externalista", no qual são examinadas as relações entre a prática científica e o contexto sócio-histórico no qual a ciência é produzida. A abordagem externalista pode nos esclarecer a respeito de uma série

de fatores, externos à prática científica, que a condicionam, fazendo com que os eventos da história das ciências não sejam gerados exclusivamente pela racionalidade interna à prática científica. A atividade científica não se guiaria apenas pela busca da verdade, entendida como a elaboração de teorias que expressam fielmente a realidade, mas também por contingências relacionadas aos próprios produtores do conhecimento, e à sociedade como um todo. Os diversos interesses em jogo, condicionando as metas estabelecidas para o trabalho científico, e os meios para atingi-las, interfeririam nos critérios de avaliação das teorias, orientando as nossas escolhas segundo uma dinâmica que extrapola a lógica da pesquisa, de que tratamos anteriormente. Por exemplo, mesmo que uma hipótese tenha o grau de confiança seguramente aumentado pelos testes experimentais, um grupo de pesquisadores pode insistir em sua rejeição, movido por interesses externos ao ambiente de pesquisa.

Estando a atividade científica submetida à contingência das forças histórico-sociais, a possibilidade de um progressiva aproximação à verdade, ao longo da história da ciência, se vê ameaçada. Uma hipótese nem sempre seria substituída por outra mais apropriada, segundo os critérios da metodologia científica; ela poderia dar lugar a outras hipóteses, mais duvidosas, porém capazes de causar um maior impacto publicitário, e atrair mais a atenção do público. De um ponto de vista "pessimista", lembraríamos que não é necessário que algum dia tais hipóteses sejam desmascaradas e substituídas por outras "mais verdadeiras", porque nada garante que o processo de escolha das novas teorias dominantes será diferente. Se uma visão deste tipo for correta, então a possível ocorrência de um progresso do conhecimento seria puramente casual, pois não haveria um fio condutor racional, entre as diversas teorias sucessivamente adotadas, exceto o da adaptação oportunista às conveniências do momento.

A corrente chamada de *realista*, na filosofia da ciência, opõe severas objeções à visão "pessimista" sobre o progresso da ciência. Em primeiro lugar, parece ser evidente para todos que existe um progresso do conhecimento, na história da ciência, embora talvez não consigamos mostrar precisamente em que consiste este progresso. Dizer que estamos nos aproximando cada vez mais da verdade, ou que acumulamos uma série de teorias verdadeiras, são afirmações vagas, que não se harmonizam bem com o espírito da metodologia científica (na ciência empírica, como vimos anteriormente, não temos condições de apurar se uma hipótese é logicamente verdadeira; só temos condições de

afirmar que não é falsa em relação a um número finito de testes, ou que temos um alto grau de confiança nela). Porém, para o realista, a ciência procura representar a realidade; logo, um progresso da ciência deve ter como consequência necessária um maior entendimento desta realidade. Por exemplo, com a descoberta das partículas sub-atômicas, hoje conheceríamos mais sobre a natureza da matéria que os cientistas do século passado, que pensavam que o átomo seria indivisível. Como poderia ser avaliada a superioridade de uma teoria sobre outra? Um critério que pode ser levantado por um filósofo realista é o de que uma teoria mais adequada à realidade tem *maior eficácia* em suas aplicações práticas que uma teoria inadequada. Teorias que nos permitem construir novos aparelhos seriam superiores às que não o permitem. Então, o progresso da ciência poderia ser avaliado através do desenvolvimento tecnológico que ela possibilita, e pela eficácia da tecnologia na transformação da natureza. Outros critérios seriam a acumulação de dados confiáveis, e um poder explicativo maior.

### **3.2 - Revisão Histórica das Ciências Biológicas**

Os vários tipos de conhecimento relacionados aos seres vivos passaram por uma evolução, ao longo da história da civilização ocidental, sendo inicialmente elaborados por filósofos e médicos práticos, e progressivamente vindo a constituir áreas científicas autônomas. Iremos aqui resumir os principais trabalhos que constituíram esta história, tomando como fonte o livro de Gardner (1972). Embora as civilizações anteriores à grega tivessem vários conhecimentos de medicina e agronomia, considera-se que as primeiras teorias, que tomaram como objeto os seres vivos, teriam sido formuladas pelos filósofos gregos do período pré-socrático (ou seja, anterior a Sócrates, grande filósofo moral grego, cuja sabedoria nos foi legada através da obra de Platão). No período pré-socrático, procurava-se oferecer explicações racionais - ainda que rudimentares, de nosso ponto de vista "moderno" - sobre a origem e a natureza das coisas, oferecendo um alternativa às explicações míticas, baseadas no politeísmo, vigentes até então. O primeiro a propor sua teoria sobre a origem da vida foi THALES DE MILETO (639-544 ac), para quem ela teria se originado da água. Já para ANAXIMANDRO (611-547 ac), todos os seres vivos do mundo atual teriam se originado de um substância primitiva, qualitativamente indeterminada, e quantitativamente infinita, que ele chamou de "ápeiron". Este pensador sustentou que, a partir desta substância originária, a vida teria se gerado espontaneamente,

no barro. Propôs ainda a transmutação entre as formas de vida, sendo deste modo considerado um precursor do evolucionismo moderno.

XENÓFANES (576-490 ac) realizou pesquisas práticas, destacando-se a identificação de fósseis de animais aquáticos em regiões montanhosas. ANAXÍMENES (570-500 ac) retomou o debate a respeito do elemento originário da vida, propondo, aparentemente por via da observação do processo respiratório, que a vida depende do ar. HERÁCLITO (556-460 ac), o grande filósofo das mudanças por que passam todas as coisas, propôs, por sua vez, que o fogo seria o elemento principal da vida.

Dentre os pré-socráticos, devemos a EMPÉDOCLES (504-433 ac) a teoria biológica mais elaborada, tomando como base os quatro elementos fundamentais, terra, fogo, água e ar. Da combinação destes quatro elementos se produzem quatro qualidades, que corresponderiam a quatro "humores" (disposições, tipos de personalidade). Da combinação entre o ar e o fogo se gera a qualidade "quente", que corresponde ao humor "sangüíneo", característico dos seres em que predominaria a atividade do coração. Da combinação entre o fogo e a terra, se produz a qualidade "seco", que corresponde ao humor "melancólico", típico dos seres em que predominaria a atividade do baço, produtora da "bile preta". Da combinação entre a terra e a água se gera a qualidade "frio", relacionada ao humor "fleumático", relativo aos seres em que predominaria a atividade do cérebro. E, finalmente, da combinação entre o ar e a água se geraria a qualidade "úmido", ligada ao humor "colérico", típico daqueles em que predominaria a atividade do fígado, produtor da "bile amarela". Empédocles também antecipou a teoria evolucionista, ao lançar três hipóteses: a) que as formas de vida mais complexas evoluíram gradualmente, a partir de formas menos complexas; b) que as plantas surgiram antes dos animais, e c) que as formas de vida menos adaptadas foram substituídas por formas mais adaptadas.

De DEMÓCRITO (470-380 ac), filósofo para quem a natureza era constituída por átomos e pelo vazio, recebemos algumas idéias inteligentes, como a hipótese de que as epidemias seriam causadas por átomos vindos de outros planetas, e que os fenômenos biológicos deveriam ser explicados por meio do movimento dos átomos (por exemplo, o sono corresponderia a uma pequena perda de átomos, e a morte à perda de átomos em grande quantidade). Devemos também a Demócrito, e ao grande médico grego HIPÓCRATES, as primeiras concepções a respeito das funções cognitivas do cérebro.

Com efeito, eles consideraram o cérebro o órgão do pensamento, ao contrário de outros pensadores gregos, como Aristóteles, para quem o cérebro era apenas responsável pela refrigeração do ar, sendo o coração o órgão do pensamento.

ARISTÓTELES (384-322 ac) foi o maior pesquisador e teórico grego da área biológica, sendo considerado por alguns historiadores como o "pai da biologia". Juntamente com seus colaboradores, ele escreveu cerca de 146 livros, e ainda trabalhou empiricamente, fazendo inúmeras observações, e inferindo delas diversas conclusões relevantes. Seu estilo de trabalho pode ser comparado ao trabalho de botânicos e zoólogos atuais, tendo coletado, classificado e interpretado grande quantidade de dados, especialmente os relativos à fauna marinha. Nesta área, ele descreveu a morfologia, hábitos, desenvolvimento e forma de reprodução de diversas espécies, como o polvo e a sépia, entrando inclusive em detalhes, a respeito de objetos pequenos, como ovos e embriões. Sua classificação dos animais se baseou na morfologia, funções e tipos de reprodução. Analisando tais características, ele supôs que seria possível definir a "essência" (conjunto de características necessárias e suficientes) de cada espécie animal. A grande divisão dos animais para ela era entre aqueles que possuem sangue vermelho, e aqueles que não o possuem. Estas duas classes dividem-se entre animais terrestres e marinhos, onde se incluem então os gêneros (pássaros, peixes, mamíferos) e as espécies.

O trabalho de botânica realizado por Aristóteles foi recuperado por seu discípulo TEÓFRASTO (380-287 ac), que escreveu os livros *História das Plantas*, contendo descrições morfológicas e usos terapêuticos das mesmas, e *As Causas das Plantas*, livro que trata do crescimento, manutenção e reprodução de cerca de 500 espécies, com dados sobre clima, solo, temperatura, formas de cultivo, ciclo vital, sabores e cores destas plantas.

O período helênico e romano se caracterizou, no âmbito do pensamento, por reflexões a respeito do comportamento humano, como as filosofias estoica e epicurista, e a ciência do direito. No plano biológico, relativamente pouca pesquisa foi realizada, destacando-se o trabalho de GALENO (131-200). Antes dele, citamos os trabalhos de PLÍNIO (23-79), que compilou uma enciclopédia intitulada *História Natural*, misturando informações de diversas origens (fábulas, folclore e dados provenientes da observação de tipo científico). Neste livro, constam informações sobre 1000 espécies, enfocando seus

usos econômicos e medicinais. Como nesta época ainda não tinha sido forjada um nomenclatura biológica, a identificação das espécies era feita por meio de desenhos. DISCORIDES, cirurgião do exército romano, escreveu o livro *De Matéria Medica*, onde descreveu 600 espécies, tendo como finalidade mostrar seus usos medicinais.

Galeno era médico de gladiadores em Pérgamo, e também médico do imperador Marco Aurélio. Com base nestas atividades, e também por meio da dissecação de macacos (a dissecação humana não era praticada oficialmente, nesta época), ele escreveu o livro *Sobre as Preparações Anatômicas*, que adquiriu grande importância histórica, tendo sido utilizado como obra de referência por cerca de 1.400 anos. Um dos aspectos mais curiosos de sua concepção anatômica era a teoria do fluxo sanguíneo, que para ele ocorria apenas na direção do centro para a periferia do corpo dos animais. Tal fluxo seria de mão única, pois o sangue seria produzido pelo fígado e estômago, bombeado pelo coração, e gradativamente consumido, à medida que se disseminava pelo corpo. Uma parte importante de sua teoria era que, ao passar pelos pulmões, o sangue se misturaria com o ar, formando aquilo que ele chamou de "pneumas", ou espíritos vitais. Podemos ver nesta teoria uma antecipação do moderna concepção de papel do oxigênio na respiração.

Ao longo do período medieval, o progresso científico ficou limitado pelos ditames das doutrinas religiosas, uma vez que a cultura dominante neste período foi erigida sob a hegemonia de religião católica. Os conhecimentos elaborados sobre a natureza eram especulativos, baseados na interpretação dos textos sagrados, e não na observação. Os sábios da época pensavam poder resolver os problemas do conhecimento através de intermináveis discussões, realizadas entre-muros, onde imperava a arte da retórica. Apesar desta limitação, houve um progresso do conhecimento físico-químico-biológico, por meio de pesquisas não oficiais, realizadas pelos alquimistas e outros indivíduos empreendedores. Ao lado da recuperação da ciência grega, por meio dos árabes, por volta do Séc. XII, que conduziu à formação das primeiras universidades, se produziu um acúmulo de atividades, que culminou com o movimento renascentista, ao final do Séc. XIV. A primeira universidade foi a de Salerno, onde se ministravam cursos de medicina, baseados nos trabalhos de Hipócrates e Galeno. A escola de medicina de Bolonha, no Séc. XIII, desenvolveu técnicas de tratamento de feridas, usando anestesia de ópio ou mandrake, ingerida por via nasal. A descoberta da América e outras regiões, conduziu à descoberta de inúmeras plantas e animais, que despertaram a curiosidade científica. Além

disso, o interesse nas "grandes navegações" também impulsionou o desenvolvimento da matemática e da astronomia. Como resultado destas atividades, reforçou-se a capacidade de homem, por meio de sua razão, encontrar explicações sobre o mundo que o cerca, independentemente das doutrinas religiosas.

Os pensadores do Renascimento uniam ciência e arte, como o objetivo de fornecer descrições precisas da natureza. BOTTICELLI (1444-1510), por exemplo, se dedicou à pintura de plantas, com grande precisão de detalhes. A invenção da imprensa possibilitou uma maior difusão dos textos de Aristóteles, Teófrasto, Discorides e Plínio, difundindo os conhecimentos científicos da antiguidade. A prática da dissecação humana, em sessões públicas intituladas "anatomias", permitiu grande progresso no conhecimento morfológico, possibilitando a correção de erros cometidos por Galeno.

Um dos pensadores e artistas mais ativos da época foi LEONARDO DA VINCI (1452-1519), quem, para obter dados anatômicos, realizou dissecações por conta própria, preenchendo 129 cadernos com anotações e gravuras. Inventou técnicas, como a conservação do olho no albúmen coagulado, e a injeção de cera no cérebro, para sua conservação. Também MICHELÂNGELO (1475-1564) fez dissecações para conhecimento da musculatura humana, tal como transparece em suas esculturas e pinturas. Em continuação com os avanços médicos medievais, AMBROISE PARÉ (1517-1590), cirurgião francês, estudou problemas da dor, hemorragia e infecção, criticando o uso do óleo quente para a cicatrização, e a idéia de que o pus seria sempre benéfico. Alternativamente, ele criou o método de costura de vasos sanguíneos.

O grande nome da biomedicina renascentista foi VESALIUS (1515-1564), que era assistente de dissecações da Universidade da Pádua. Curiosamente, nesta época era o assistente quem fazia as dissecações, enquanto o professor lia, em voz alta, textos supostamente explicativos do que estava acontecendo, de autoria de Galeno, para o numeroso público que assistia a estas sessões. Vesalius pôde então notar discrepâncias, entre a anatomia humana e a descrição feita por Galeno, que se baseou em dissecações de macacos. Seus conhecimentos foram compilados no livro *A Fábrica do Corpo Humano*, em 7 volumes, contendo muitas ilustrações, no estilo da arte renascentista. De uma versão simplificada deste livro, se originaram manuais de anatomia, utilizados até os dias atuais. Em seu trabalho científico, Vesalius passou a realizar sessões de dissecação, onde ele



próprio fazia comentários, com base na observação do material analisado. Ele também montou esqueletos humanos para fins de pesquisa, e os comparou com esqueletos de macacos, para mostrar a origem dos êrros de Galeno, e também com esqueletos de cães, iniciando assim os estudos de anatomia comparada.

Rapidamente, a descrição anatômica proposta por Vesalius tomou o lugar da de Galeno, porém esta descrição era ainda restrita ao esqueleto e músculos, de modo que a fisiologia de Galeno era ainda adotada no Séc. XVI. Apenas no início do Séc. XVII, com o trabalho experimental de HARVEY (1578-1757), foi descoberta a circulação contínua. Harvey é considerado o primeiro biólogo experimental, pois ele demonstrou sua teoria da circulação por meio de dois experimentos, relatados no seu livro *O Movimento do Coração e do Sangue nos Animais*. No primeiro experimento, ele demonstrou a ação de válvulas comandando o fluxo sangüíneo, e a existência do retorno do sangue, da periferia do corpo para o coração. Em uma veia do braço, ele passou vigorosamente o dedo polegar no sentido do ombro para a mão, mostrando que esta veia se esvaziava de sangue; em seguida, passou o polegar no sentido inverso, mostrando que a veia novamente se enchia de sangue, o qual, evidentemente, se deslocava no sentido da extremidade do corpo para o coração. O segundo experimento, mais sofisticado, provou que o corpo não poderia produzir a quantidade de sangue implicada pela teoria de Galeno. Harvey mediu a frequência do batimento cardíaco, e a quantidade de sangue transportada pela aorta em cada pulsação. Se a teoria de Harvey fosse verdadeira, deveria passar pela aorta, a cada 15 minutos, uma quantidade de sangue maior que a do corpo inteiro. Para se evitar esta consequência absurda, era preciso aceitar a teoria de que o sangue que passava pela aorta retornaria ao coração pela veia cava. Harvey não tinha ainda condições de provar a passagem do sangue das artérias mais finas para as veias, o que só foi observado subsequenteemente por Malphigi, com o uso do microscópio. Mas ele ainda propôs a teoria da dupla circulação, sistêmica e pulmonar.

DESCARTES (1596-1650), grande filósofo e cientista, tentou utilizar leis da física e da química para explicar as funções do organismo vivo. No sétimo capítulo de seu livro Discurso Sobre o Método, tentou explicar mecanicamente o funcionamento do sistema nervoso: a glândula pineal seria o meio de coordenação do corpo pela mente, e os nervos seriam tubos, através dos quais correriam fluídos emanados pela glândula pineal.

Seguindo esta visão mecanicista, BORELLI (1608-1679) tentou explicar a ação dos músculos.

No Séc. XVII, a pesquisa científica era feita em grande parte por amadores e curiosos, que se dedicavam à realização de diversos experimentos, enquanto as universidades da época se apegavam à transmissão do conhecimento tradicional. A organização mais influente era a Sociedade Real de Londres, destacando-se também o trabalho de Thomas Jefferson e Benjamin Franklin nos EUA. As Sociedades Científicas, meio de organização da pesquisa adotado até o presente, desenvolveram àquela época instrumentos que proporcionaram um grande avanço da investigação científica, como pêndulos, barômetros, termômetros, hidrômetros, bombas de ar e motores, sendo que um deles veio a revolucionar a pesquisa biológica: o microscópio.

Dentre os amadores dedicados à pesquisa científica na época, cinco deles se destacaram por suas descobertas ao microscópio, sendo chamados de "os microscopistas". Eles foram:

a) MALPIGHI (1628-1694): descreveu a estrutura fina do fígado, e mostrou que a bÍlis era secretada por suas células, e que o baço não está conectado ao estômago. Descreveu a camada interna da pele, as papilas de língua, e a estrutura do córtex cerebral;

b) LEENWENHOEK (1632-1723): descobriu organismos microscópicos na água, e em uma cultura de pimentas (por acaso, pois queria descobrir "farpas"); também descobriu que a água quente mata os microorganismos. Descreveu a circulação capilar, os tecidos e estruturas das plantas;

c) HOOKE (1635-1703): estudou a relação da combustão com a respiração; forneceu explicação sobre fósseis, e, o mais importante, fez a descoberta das células na cortiça;

d) SWAMMERDAM (1637-1680): estudou a metamorfose dos insetos; fez introdução de técnicas de estudo para a respiração e a contração muscular, em organismos vivos.

e) GREW (1641-1712): estudou a morfologia das flores.

Ao final do Séc. XVII, presenciou-se um aumento da atividade dos sistematas, que se empenhavam na tarefa de classificação das novas espécies conhecidas, tentando enquadrá-las em um sistema rígido e funcional. Destacam-se nessa área LINEU (1707-1778), ao propor um sistema binominal de classificação, substituindo o método então vigente, que chegava a fazer uso de até 12 palavras para identificação de uma espécie. Em seu livro *Sistema Natural*, reconheceu 24 classes de plantas, e 4000 espécies animais. Como era partidário de uma concepção criacionista, entendia que o número de espécies criadas por Deus seria fixo, o que se refletiu em sua preocupação com uma taxonomia biológica rígida. Esta veio a ser alterada posteriormente à teoria evolucionista, para que se pudesse dar conta das transformações evolutivas. Ao lado da atividade dos sistematas, surgiram estudos de biologia comparada, que inspiraram a teoria de CUVIER (1769-1832), de que ocorreriam extinções de espécies biológicas, devidas a catástrofes naturais. Esta foi uma forma inteligente de se explicar as diferenças de distribuição geográfica das espécies, no contexto de um sistema de espécies fixo.

No Séc. XVIII, grande parte da atenção dos estudiosos se concentrou no debate entre teorias rivais, relativas à reprodução sexuada e ao processo embriológico. Um dos debates foi entre os *preformacionistas* e os *epigeneticistas*. Para os primeiros, o ovo conteria o ser adulto em miniatura, explicando-se a não visibilidade dos órgãos devido ao fato de serem então muito pequenos. Para os segundos, a diferenciação celular ocorreria progressivamente, como foi demonstrado por meio dos experimentos realizados por SAINT-HILLAIRE (1772-1844), e mais tarde por BAER (1792-1876), ficando a questão inteiramente resolvida em prol do epigeneticismo. Esta visão já tinha sido antecipada nos trabalhos de WOLFF (1738-1794), observando o desenvolvimento embriológico do ovo de galinha.

Se a discussão sobre o desenvolvimento embriológico chegou a um bom termo no período, o mesmo não aconteceu com as divergências sobre o processo de fecundação, que originaram diferentes teorias da geração: a) a teoria da *pangênese*, que sustentava que grãos minúsculos se desenvolvem em cada região do corpo, e se aglutinam nos órgãos reprodutivos, transmitindo as características dos pais aos seus descendentes. Esta teoria ainda era aceita no Séc. XIX, inclusive por Charles Darwin; b) a teoria da *precipitação*,

que propunha que o embrião seria formado no momento de fecundação, pela precipitação de materiais existentes no óvulo; c) a teoria do *seminismo*, que sustentava que tanto o macho quanto a fêmea possuíam sementes, de cuja união surgiria o novo ser, e d) a teoria da panspermia, segundo a qual a geração de seres vivos dependeria de uma substância espalhada por toda a parte, possibilitando a geração espontânea.

Ao lado das discussões acima, gradativamente foi se formando uma concepção evolutiva dos seres vivos, que veio a superar a teoria da criação especial, herdada do período medieval, segundo a qual Deus teria criado cada forma de vida separadamente, já com as características que atualmente possuem. A emergência de teorias evolucionistas veio a ser dar no Séc. XVIII, culminando com a revolução conceitual darwiniana, no século seguinte. BUFFON (1707-1788) salientou a importância das fatores ambientais para as formas de vida, e a importância da migração, do isolamento geográfico e da luta pela sobrevivência, idéias que Charles Darwin utilizaria mais tarde, em uma teoria abrangente. ERASMO DARWIN (1731-1802), seu avô, publicou um livro, intitulado *Zoonomia*, em que procurou quais seriam as leis da vida orgânica, tendo sublinhado a herança dos caracteres adquiridos, e a hipótese de que todas as espécies descenderiam de um ancestral único. LAMARCK (1744-1829), que se aprofundou em estudos de botânica e zoologia de invertebrados, formulou uma teoria da transformação dos espécies, por meio da herança dos caracteres adquiridos. Esta teoria se baseou na "lei" do uso e desuso: quanto mais um órgão é utilizado, segundo as condições ambientais em que o ser vivo está, mais ele se desenvolve (e se retrai, caso não seja utilizado); pela herança destes caracteres, ocorreria progressivamente uma alteração das formas de vida, tornando-se cada vez mais adaptadas a seus ambientes. Ele percebeu a possibilidade de surgimento de novas espécies, devido ao processo acima, e também ao isolamento geográfico. Aprofundando-se no estudo da evolução, chegou a traçar diagramas da árvore evolutiva, e antecipou concepções atuais de ecologia, ao reconhecer a existência de um balanço entre as formas de vida.

CHARLES DARWIN (1809-1882) foi o grande teórico e advogado da evolução das espécies. Ele viajou pelo mundo à procura de evidências favoráveis à evolução, vindo a encontrar, nas Ilha Galápagos, formas de vida intermediárias, relativamente às espécies ali existentes. Para explicar como ocorreriam as transformações entre as formas de vida, se inspirou nos trabalhos do economista Thomas Malthus, que comparou as curvas do

crescimento demográfico e da disponibilidade de alimentos. Concluiu Darwin que a ocorrência de taxas de reprodução, e conseqüente aumento populacional, de maior magnitude que o crescimento dos recursos alimentares, inevitavelmente geraria uma competição entre os seres vivos, em busca da sobrevivência. Enquanto elaborava, por cerca de 20 anos, sua teoria sobre a competição entre os seres vivos, que determinaria quais deles poderiam se reproduzir e se perpetuar ao longo do tempo, Darwin encontrou idéias muito semelhantes às suas, em um texto de Wallace, escrito durante uma convalescença de febre amarela. Do contato entre ambos surgiu uma publicação conjunta, em 1858, com grande repercussão. Em 1859, saiu o livro de Darwin, *A Origem das Espécies*, que teve a edição esgotada, seguida por *A Variação dos Animais e Plantas*, em 1868. Ele escreveu ainda trabalhos sobre a posição do homem no processo evolutivo, e sobre a seleção sexual, responsável por certas características dos seres vivos. Sua teoria da seleção natural, como força diretiva da evolução, não teve plena aceitação por parte da comunidade cultural, tendo se destacado o empenho de T. HUXLEY (1825-1895) na defesa das idéias darwinianas, contribuindo para que se formasse uma nova visão dos fatos biológicos.

O Séc. XIX apresentou grandes progressos para a biologia, não só pela teoria evolutiva, com também em outras áreas, a citologia, a microbiologia e a fisiologia. A teoria celular foi desenvolvida por SCHLEIDEN (1804-1881), que propôs que a célula seria a unidade estrutural e funcional dos seres vivos, e SCHWANN (1810-1882), que introduziu a noção de metabolismo, para os processos químicos que ocorrem na célula. Enquanto o primeiro se baseou em estudos com plantas, o segundo se baseou em estudos com animais, chegando à mesma concepção da célula, como unidade básica da organização dos seres vivos. KOLLIKER (1817-1905) aplicou a teoria celular à embriologia, mostrando que o ovo é uma célula única, e que a divisão nuclear precede a divisão celular. Neste contexto, pôde-se finalmente identificar a célula como depositária da hereditariedade. Em 1875, foi descrito o processo de mitose; em 1882, a fixação de células em tecidos; em 1888, foram visualizados os cromossomos; e em 1897, foram identificadas as mitocôndrias.

A microbiologia se desenvolveu em torno da polêmica sobre a geração espontânea, e, principalmente, lidando com a teoria microbiana das doenças, produzindo vacinas e soros, com a finalidade de combater as grandes epidemias da época. Alguns dos

precursores deste acentuado desenvolvimento de microbiologia no Séc. XIX foram F. REDI (1621-1627), que questionou a idéia de geração espontânea, através dos famosos experimentos com carne em decomposição, mostrando que moscas surgiriam apenas nas amostras não vedadas com vidros. SPALLANZANI (1729-1799) refez os experimentos de Redi, procedendo também a uma esterilização rigorosa do material analisado. FRANCASTORIUS (1484-1553) já tinha antecipado a possibilidade de que certas doenças fossem causadas por "sementes" flutuantes no ar, e SYNDENHAM (1624-1689) propusera a existência de causas específicas para cada tipo de doença, e a possibilidade de remédios específicos, como a ação do quinino contra a malária. Estes autores apresentaram as idéias fundamentais, que só foram plenamente aceitas pela comunidade científica, após sua confirmação experimental por Pasteur e Koch.

PASTEUR (1822-1895) começou seu trabalho científico como bioquímico, contribuindo para a metodologia da estereoquímica, e estudando a fermentação, quando descobriu que certos micróbios fazem o vinho e a cerveja se "estragarem" (isto é, transformam açúcar em ácido). Para se evitar esta transformação, as bebidas poderiam ser fervidas em determinado estágio de fermentação, processo que veio a ser conhecido como "pasteurização". Prosseguindo seus estudos, Pasteur mostrou que o ar carrega microorganismos em "estado dormente", e também detectou a existência de microorganismos anaeróbicos; identificou a ação dos micróbios nos animais, e descobriu que uma solução feita dos germes atenuados, injetada em um animal, poderia protegê-lo contra a ação patológica destes mesmos germes. A eficácia destas vacinas, contra a raiva canina e contra o antrax caprino, foi demonstrada em experimentações públicas. R. KOCH (1843-1910) conduziu, na Alemanha, o desenvolvimento da microbiologia, paralelamente ao trabalho de Pasteur na França. Ele comprovou a teoria microbiana das doenças, isolou o bacilo de tuberculose e o germe da cólera, não conseguindo, porém, sucesso, na busca por um remédio contra a tuberculose, que dizimava milhares de pessoas na segundo metade do séc. XIX.

Presenciou-se também, neste período, considerável progresso da fisiologia, que se baseou em conhecimentos acumulados desde a Renascença. A fisiologia animal serviu inicialmente de base para a fisiologia vegetal, tendo CESALPINO (1519-1603) elaborado uma teoria de fisiologia vegetal copiada da animal, atribuindo então aos vegetais estruturas como o coração e as veias. Progressivamente se foram acumulando

conhecimentos específicos ao universo vegetal, como o ciclo do carbono, estudado por INGENHOUSZ (1730-1799), o papel da clorofila na fotossíntese, descoberta por DUTROCHET (1776-1847), o ciclo de nitrogênio, analisado por BERTHELOT (1827-1907). LAVOISIER (1743-1794) mostrou o papel combinado da respiração, transpiração e digestão, nas transformações energéticas por que passam os seres vivos. Em um experimento muito conhecido, ele colocou um pássaro dentro de uma redoma de vidro, observando a transformação que este animal produzia na composição do ar dentro da redoma, a saber, uma diminuição de oxigênio e aumento de gás carbônico.

No Séc. XIX, dois nomes se destacaram na área fisiológica, um deles por seus estudos teóricos, e o outro pelo desenvolvimento de conhecimentos úteis para a medicina. MILLER (1801-1898) estudou a base físico-química dos fenômenos biológicos, em particular os mecanismos de percepção sensorial, como a percepção visual e auditiva. Elaborou, entre outras, a teoria da energia específica dos nervos, que afirmava que o traço característico do meio de transmissão de estímulo sensorial da resposta comportamental tem maior peso na sua determinação que a natureza do próprio estímulo. O médico e biólogo C. BERNARD (1813-1890) formulou, em seu livro *Medicina Experimental*, os conhecimentos básicos da fisiologia. Entre suas descobertas estão a digestão pancreática, a função glicogênica do fígado, o funcionamento dos nervos vasomotores, e o modo de ação de drogas e venenos no corpo.

Na virada do século, houve considerável progresso nos conhecimentos de genética, permitindo inclusive um melhor entendimento dos mecanismos da evolução biológica. Boa parte deste progresso se deveu a redescoberta, em 1900, dos trabalhos de G. MENDEL (1822-1884), que realizou diversos experimentos com ervilhas no jardim de seu monastério, verificando que o crescimento das plantas depende, em grande medida, de fatores hereditários. Em experimentos de hibridação, ele verificou a proporção de 3 para 1 entre caracteres dominantes e recessivos, na primeira geração de híbridos. A partir deste experimentos, ele elaborou dois princípios fundamentais da genética, o princípio de *dominância* de genes, e o princípio de *combinações independentes*, permitindo a previsão das probabilidades das características a serem obtidas nos cruzamentos. DE VRIES (1848-1935), descobridor e seguidor da obra de Mendel, propôs em seu livro *Teoria das Mutações*, de 1901, a existência de mudanças abruptas, sem formas de transição ou antecedentes visíveis, no patrimônio genético, gerando características fenotípicas novas.

Desencadeou-se, no início do Séc. XX, a partir do trabalho de Mendel, uma série de desenvolvimentos da teoria genética. BATESON, em 1902, identificou o paralelismo dos genes, chamando de "alelos" aos genes emparelhados; BOVERI e SULTON, ainda no mesmo ano, propuseram que os genes, definidos apenas como unidades funcionais por Mendel, constituiriam partes do cromossomo; MORGAN em 1909 sugeriu que os genes teriam um "locus" no cromossomo, e GARROD em 1910 propôs que os genes produziram as enzimas. No nível da genética populacional, HARDY e WEINBERG descobriram que a frequência dos genes em uma população tende a ser constante, e formularam uma equação de equilíbrio das frequências alélicas.

Por meio da teoria evolucionista e da genética, a biologia se afirmou como uma ciência autônoma, que se desdobra em diversas áreas (também chamadas de "ciências biológicas"). O desenvolvimento posterior da biologia no Séc. XIX, que não teremos condições de acompanhar aqui, com a emergência da biologia molecular, a etologia e a ecologia, já fazem parte do estado atual de conhecimento desta (s) ciência (s)



## CAPÍTULO 4 - FILOSOFIA DA BIOLOGIA

### 4.1 - Questões Metodológicas

A física newtoniana constituiu, na época moderna, um modelo para as demais ciências naturais. Paralelamente a biologia, devido às características de seu objeto de estudo, veio a desenvolver uma metodologia própria, trabalhando com conceitos que não puderam ser reduzidos, ou traduzidos, para a linguagem física. Um exame da história da biologia nos revela que o conhecimento a respeito dos seres vivos esteve, durante muito tempo, subordinado a pesquisas e práticas médicas, só vindo a ganhar especificidade com o advento da primeira grande teoria biológica, a teoria evolucionista de Darwin. Mas o trabalho dos "naturalistas", de linhagem darwiniana, foi, até meados do Séc. XX, principalmente *descritivo* - não *explicativo* (ver nosso item 1.4), como na física newtoniana. Os biólogos eram considerados "historiadores da natureza", vindo a adotar uma perspectiva metodológica semelhante à dos estudiosos da história humana, que se preocupavam em registrar os eventos, datas e personagens marcantes. De forma análoga, os antigos estudiosos de "História Natural" (nome que era dado ao próprio curso de Biologia, nas universidades), seguindo o exemplo de Darwin, percorriam os quadrantes do globo terrestre para encontrar, estudar, identificar e descrever as mais variadas formas de vida, muitas vezes apontando a importância de suas descobertas para a reconstituição da árvore evolutiva, ou seja, para o entendimento da história de evolução.

O trabalho dos "naturalistas" veio a acumular uma massa de conhecimentos, que deveriam ser explicados por meio da teoria evolucionista. Mas, neste ponto, surgiu um grande problema. Mesmo tendo sido aperfeiçoada, através da incorporação das teorias das mutações e de herança modernas (que substituíram a teoria de pangênese, ainda adotada por Darwin), e dos desenvolvimentos matemáticos da genética de populações, a teoria evolucionista não chegou a desempenhar o papel explicativo que as teorias físicas costumam desempenhar, frente aos fenômenos físicos. Consequentemente, o trabalho dos biólogos permaneceu mais descritivo que explicativo, e tende a continuar assim, a não ser que uma nova e forte teoria, como a genética molecular, se torne suficiente para reverter tal quadro. A nova dificuldade, que aqui se apresenta, consiste na visão *reducionista* (ver definição deste termo adiante), implicada pelas explicações genéticas dos fenômenos biológicos.

A predominância dos trabalhos descritivos confere uma peculiaridade às pesquisas biológicas, que afeta inclusive a filosofia da ciência. Em trabalhos puramente descritivos, os pesquisadores biológicos, mesmo adotando todos os rigores e precauções científicos, aparentam não adotar nenhuma hipótese condutora da pesquisa, exceto suposições óbvias (por exemplo, que em uma área na qual será feito um levantamento florístico existem espécies vegetais). Outra hipótese, um pouco menos óbvia, porém trivial, seria que a distribuição das espécies ao longo da área estudada é uma distribuição *uniforme* (em toda indução se supõe coisa semelhante, que o filósofo David Hume chamou de "princípio da uniformidade da natureza"). Dada a peculiaridade acima, torna-se difícil analisar o trabalho biológico exclusivamente com base no modelo físico, que é, ao contrário, mais explicativo que descritivo. A filosofia da ciência de Karl Popper, que é adotada por alguns biólogos (especialmente, como era de se esperar, por aqueles que realizam trabalhos experimentais, com testes de hipóteses) e cientistas de diversas áreas, não é adequada para se entender a lógica da pesquisa descritiva, uma vez que tal filosofia praticamente identifica o trabalho científico com a busca de explicações.

Durante um certo tempo, pensou-se que o predomínio de trabalhos descritivos fosse sinal de uma falta de maturidade da Biologia, supondo-se que toda pesquisa descritiva fosse uma mera preparação para uma pesquisa explicativa, que deveria se realizar em seguida. Recentemente, alguns filósofos da biologia, como Beckner e Hull, sugeriram que talvez o trabalho biológico tivesse um estilo próprio, que se diferenciaria do estilo da física, e, eventualmente, pudesse até servir de modelo alternativo para os físicos. Em que consistiria este estilo biológico? Trata-se de uma questão aberta, a ser discutida amplamente. Vamos aqui apresentar três aspectos que, a nosso ver, foram devidamente realçados pelos biólogos, e que tendem a ser reconhecidos, tardiamente, pelos próprios físicos:

a) *Diversidade*: existe uma grande diversidade de formas de vida, inclusive importantes diferenças no interior das espécies (as variedades), e de indivíduo para indivíduo. Esta diversidade é relevante para se entender o próprio fenômeno biológico, não podendo ser deixada de lado, sob o pretexto de uma "simplificação" do objeto de estudo. Por outro lado, a geração da diversidade da vida parece depender de diversos fatores, genéticos, ambientais e históricos, que não podem ser generalizados em uma única explicação, ou subsumidos em uma única teoria. Com efeito, um dos problemas da teoria

evolucionista é que, para tornar possível a explicação de todos os tipos de fenômenos biológicos, ela teria que ser tão ampla, que, ao final, se tornaria imprecisa, e não explicaria nada.

Será que tal característica de diversidade não se aplicaria a todos os fenômenos da natureza, além dos fenômenos biológicos? Ora, a física newtoniana se aplicava a objetos idealizados, simplificados, nos quais só eram consideradas as características comuns às *classes* de objetos. Por exemplo, duas barras de ferro, com igual massa, tamanho, condutividade elétrica, etc... seriam consideradas idênticas, isto é, não poderiam ser caracterizadas em sua individualidade. Entretanto, em certas áreas da física contemporânea, como a Termodinâmica desenvolvida por Ilya Prigogine e colaboradores, chegou-se à conclusão que dois sistemas físicos, aparentemente idênticos, se submetidos a processos que ocorrem à distância do equilíbrio termodinâmico (ver nosso item 5.6), podem apresentar comportamentos marcadamente distintos, dependendo de sua microestrutura particular, e de sua história individual. Existem, portanto, sinais de que o aspecto de diversidade seria relevante para todas as áreas científicas. Um outro exemplo seria a sociologia, onde se tende a reconhecer a diversidade de culturas, e a impossibilidade de explicação de todas as culturas por uma única teoria sociológica;

b) *Interação*: não só as partes de um organismo vivo são estreitamente relacionadas, como também existe intensa interação entre os organismos e seus ambientes, e ainda, como ressaltou a teoria darwiniana, entre as diversas formas de vida que habitam uma determinada região geográfica. Isso traz imensas dificuldades explicativas, pois impede o uso de esquemas causais lineares (ver item 4.4), o que, por sua vez, dificulta o uso da descrição matemática, que se baseia na noção de *função*. Certos sistemas de relações matemáticas, que expressariam fenômenos biológicos, envolvendo a interação entre muitos agentes, não poderiam ser resolvidos por métodos triviais de cálculo matemático. Tal dificuldade pode ser melhor avaliada se nos lembrarmos que os físicos-matemáticos do início do século, como Henri Poincaré, já reconheciam os problemas existentes na derivação das equações que expressavam a evolução temporal de sistemas de *três* corpos em interação!

Para superar a dificuldade acima, estão sendo desenvolvidos modelos estatísticos, com simulações computacionais, que procuram mostrar traços relevantes da evolução

temporal de sistemas complexos (ver itens 1.3 e 5.7). Mas existe uma grande resistência, por parte dos biólogos, em aceitar que as conclusões assim obtidas possam ser aplicadas, sem maiores discussões, para a explicação de fenômenos biológicos. Um exemplo seria o trabalho de Stuart Kauffman (1994) a respeito da evolução biológica, onde o autor pretende corrigir ou complementar a teoria darwiniana (em sua versão atual, “neo-darwiniana”) da evolução, com base em um modelo simplificado de ser vivo, que foi submetido a simulações computacionais;

c) *Acaso*: existem dois tipos de acaso, que caracterizam os fenômenos biológicos: o acaso das mutações, e o acaso da recombinação gênica em pequenas populações geograficamente isoladas. O primeiro tipo de acaso tem sua origem na estrutura quântica da matéria, cujas propriedades se manifestam no nível molecular, gerando alterações da informação inscrita no DNA, que podem se propagar por meio da divisão celular. Quando as mutações ocorrem nas células somáticas, suas conseqüências atingem apenas o indivíduo, porém quando ocorrem nas células germinativas, podem se perpetuar na totalidade das células dos descendentes. Quanto à recombinação gênica, trata-se da produção de novos genótipos por via dos processos de reprodução da espécie, independentemente da ocorrência de mutações. Em populações relativamente numerosas, em ambientes estáveis, nem as mutações nem a recombinação gênica tendem a gerar novas espécies, devido à "diluição" da concentração dos genes novos nas gerações seguintes, conforme a tendência ao equilíbrio formulada por Hardy e Weinberg. Devido a este fato, os biólogos evolucionistas, em particular Mayr, sublinharam a necessidade do *isolamento geográfico* de uma pequena parcela da população, para que os novos genes, oriundos de mutações ou recombinações, possam atingir uma alta freqüência, gerando uma nova espécie, ou uma nova variedade de antiga espécie. Ora, se na história de toda espécie houve um momento de isolamento, no qual a combinação do material genético não obedeceu ao equilíbrio de Hardy-Weinberg, então as características que vieram a se fixar em cada espécie dependem, ao menos em parte, de uma "loteria" da natureza, não podendo ser explicadas a partir de uma regra geral. Tal situação parece encontrar paralelos na física contemporânea, seja na suposta aleatoriedade das partículas quânticas, seja na evolução não-linear de sistemas complexos (que alguns chamam de "caóticos"), onde há uma imprevisibilidade ineliminável.

Portanto, os aspectos de diversidade, interação e aleatoriedade influenciam decisivamente a metodologia de estudo dos seres vivos, conduzindo a uma estilo peculiar de entendimento da natureza. Vale aqui lembrar que o filósofo Kant já considerava o estudo dos seres vivos metodologicamente distinto do estudo dos sistemas físicos, uma vez que a categoria de *teleologia* (ver 4.4 e 5.4) nele desempenharia um papel central. De nosso ponto de vista, concordamos com a especificidade da pesquisa biológica, mas não pela razão apontada por este filósofo. As explicações teleológicas, que fazem referência aos fins ou objetivos, intencionais ou não, que regem as atividades dos seres vivos, podem, e em certo sentido até devem ser substituídas pelas explicações causais e informacionais (conforme a noção de teleonomia, proposta por Monod - vide o item 4.4 adiante). Uma discussão mais aprofundada da especificidade da metodologia biológica necessita levar em conta os diversos fatores que se inter cruzam, na produção dos fenômenos da vida, os quais necessariamente se refletem, e devem ser levados em conta, nas observações e experimentações científicas. Surge aqui uma nova questão, bastante atual, que diz respeito à possibilidade, ou não, de se elaborarem explicações causais e teleonômicas que sejam suficientes para dar conta dos fenômenos biológicos. A posição contrária a esta seria aquela que sustenta a insuficiência das explicações causais e teleonômicas, as quais deveriam ser, sempre, complementadas por descrições da *história particular* do sistema no qual ocorrem os fenômenos. Essa questão está estreitamente vinculada com a definição das condições iniciais e das condições de contorno (ver item 5.3) dos fenômenos biológicos. Adeptos da insuficiência das explicações causais/teleonômicas tentam caracterizar tal situação, afirmando que certos tipos de sistemas, incluindo os seres vivos, são *auto-organizados*, ou seja, derivam seu padrão de evolução organizacional de fatores intrínsecos, que se agruparam ao longo da história, única, do sistema. Desta perspectiva, a biologia nunca poderá ser uma ciência plenamente explicativa, mas permanecerá dependente de uma boa dose de descrições históricas.

#### **4.2 - O Conceito de "Vida"**

Toda ciência contém uma parte empírica, relacionada com as observações e experimentos, e uma parte teórica, expressa em conceitos-chave, que organizam e direcionam o saber. Na Biologia, o termo teórico em torno do qual foi aglutinado um conjunto de conhecimentos, fruto de diversos estudos empíricos, é o conceito de "vida", ou de "ser vivo" (ou ainda "sistema vivo", como propoem os biólogos contemporâneos). O

significado atribuído ao conceito de "vida" está estreitamente vinculado com aquilo que se toma como objeto de observação, na natureza, em determinada época; porém, de outro lado, o conceito de "vida", que adotamos, também direciona nosso olhar sobre a natureza, e delimita o nosso campo de observação. É digno de nota que, vinte e cinco séculos após o trabalho pioneiro de Aristóteles, não tenhamos ainda hoje um consenso entre os biólogos, a respeito do que é a "vida".

Uma das mais profundas teorias é justamente a do "pai da biologia". Ele distinguiu, na composição dos seres da natureza, dois aspectos: o material e o formal. A *matéria* é aquilo que as coisas são feitas, o substrato que é moldado de acordo com a *forma*, que é o tipo de organização que caracteriza cada ser. Quando produzimos o vidro, por exemplo, mudamos a forma adquirida pela matéria subjacente: através da ação do calor, destruimos a forma da areia, e produzimos a forma do vidro. Em todos os seres não-vivos, a especificação de sua forma é feita por agentes externos; por exemplo, a forma adquirida por uma pedra é resultado das forças exteriores que são impostas a ela, e não por um processo interno de sua estrutura. Nos seres vivos, ao contrário, a forma é uma propriedade intrínseca, ou seja, é determinada pelo próprio ser, e não por agentes externos. As condições ambientais apenas determinam características individuais ou populacionais, mas não a forma do ser, que depende da espécie a que ele pertence. O ambiente não pode fazer com que um certo animal mude de espécie, ou que seus descendentes sejam de outra espécie que não a sua. Existiria uma capacidade da forma do ser vivo, de se conservar ao longo do tempo, no indivíduo e através das gerações. Concluiu então Aristóteles que a vida seria a atividade própria da forma, a sua auto-determinação, que caracterizaria a autonomia do ser vivo. À forma capaz de se auto-determinar, que é a forma do ser vivo, ele chamou de "alma" (palavra que tem, portanto, um significado diferente do que lhe foi atribuído por doutrinas religiosas). A forma só existe, na natureza, junto à matéria, e só subsiste enquanto atua sobre a matéria.

Com o advento do método científico moderno, no Séc. XVII, e o sucesso de sua aplicação à física, muitos pensaram que os resultados aí obtidos deveriam ser aplicados ao estudo do ser vivo, cujo funcionamento poderia, em princípio, ser explicado por meio das teorias físicas da época, dominadas pela mecânica newtoniana. Para o *mecanicismo* o organismo vivo poderia ser concebido como uma máquina, composto por partes distintas, e regida por leis mecânicas (por exemplo, as leis de mecânica dos fluídos explicariam o mecanismo da circulação). Os estudos de anatomia vieram, então, a auxiliar na

identificação das partes componentes dos organismos complexos, os "órgãos" e aparelhos". O funcionamento do ser vivo seria a resultante das funções desempenhadas por suas partes.

Contra a corrente mecanicista, citada acima, surgiu, nos Séc. XVIII e XIX, a corrente *vitalista*, que tentou recuperar a concepção aristotélica do ser vivo, interpretando-a de uma maneira nova. Para o vitalismo, existiria algo que seria exclusivo do ser vivo, frente aos demais seres da natureza: uma força ou energia não-física, que não se localiza no espaço nem no tempo, e é independente da matéria. Hans Driesch, o principal teórico do vitalismo, acreditou que o processo morfogênético não poderia ser explicado em termos mecanicistas, mas apenas pela introdução de um princípio de organização, que chamou, inspirado em Aristóteles, de "enteléquia". Mais tarde também veio a defender a parapsicologia como área científica, que estudaria os fenômenos de telepatia, clarividência, telecinese e materialização. Existem ainda outras formas de vitalismo, por exemplo, na medicina oriental, onde, na acupuntura, se faz referência a uma fluxo de "energia vital", que pode ser alterado pela manipulação das agulhas, mas cuja natureza não seria propriamente física, ou melhor, seria uma forma de energia diferente das conhecidas na física contemporânea.

Em oposição ao vitalismo, surgiu, no Séc.XX, uma nova concepção do ser vivo, baseada na genética molecular, na bioquímica e na cibernética, para a qual este seria uma máquina complexa, cujo funcionamento não poderia ser explicado apenas pela mecânica, mas com o concurso das três áreas acima. Podemos então caracterizar uma corrente, chamada freqüentemente de *reducionista*, para a qual a vida poderia ser explicada pela interação complexa de elementos não-vivos, não existindo nenhum fator peculiar aos seres vivos, do tipo proposto pelo vitalismo. Existem dois tipos de reducionismo: a) o *ontológico*, para o qual os seres vivos são constituídos exclusivamente de elementos não-vivos, b) o *epistemológico*, para o qual as leis que regem os seres vivos poderiam ser deduzidas das leis que regem as transformações físico-químicas dos seus componentes (por exemplo leis de difusão, afinidades químicas, etc...). Em oposição ao reducionismo epistemológico, mas compatível com o reducionismo ontológico, fortaleceu-se mais recentemente a corrente organicista, para a qual o funcionamento do organismo só pode ser explicado mediante leis que não podem ser deduzidas das leis que regem suas partes. Uma de suas variantes é o *holismo científico* (que deve ser distinguido de certas

orientações místicas, não científicas, que também se utilizam do termo "holismo"), para o qual existem leis e princípios que regem o organismo em sua totalidade, e que não são meros resultantes da soma da atividade das suas partes componentes. Nesta abordagem, reveste-se de especial importância a história das relações entre o organismo, como um todo, e o ambiente. Por exemplo: o fato de um peixe ter escamas não se explicaria apenas devido à sua constituição genética, mas também devido às relações entre os fenótipos de seus antepassados e o meio aquático, que vieram a selecionar este tipo de característica morfológica. Levando o holismo a um extremo, alguns autores chegaram a afirmar que o objeto de estudo da biologia não seria o organismo individual ou as populações, mas a biosfera como um todo.

Uma possível posição intermediária entre reducionismo e holismo seria identificar a "vida" com o conjunto de *processos celulares*, que têm, em seu limite inferior, processos físico-químicos estruturados a partir do material genético (que, em si mesmo, não é "vivo"), e, no limite superior, a relação do organismo com o ambiente. Na prática, o nosso nível de análise, e, conseqüentemente, a localização que estabelecemos para os processos vitais, dependerão do tipo de problema que nos dispusermos a resolver. Por exemplo, nas pesquisas em ecologia os processos vitais se colocam no nível das condições ambientais necessárias para o equilíbrio da biomassa, sem necessariamente especificar o genótipo de cada forma de vida existente, ou os processos bioquímicos através dos quais os indivíduos de cada espécie se mantêm vivos. Portanto, o objeto da biologia seria o ser ou sistema vivo, em seus diferentes níveis de manifestação; apenas quando tentamos definir o que é a "vida" (isto é, em termos biológicos), é que optamos por um nível de descrição privilegiado (na proposta acima, o nível celular), surgindo assim o conflito entre as diversas concepções. Não se trata de uma divergência empírica, e sim de um conflito filosófico, a respeito do significado de um termo teórico; mas a opção filosófica que fazemos pode nos orientar para um certo tipo de pesquisa, para um certo tipo de problema, cujo estudo julgamos mais promissor, à luz de nossos pressupostos filosóficos.

### **4.3 - Estatuto das Teorias Biológicas**

Como ressaltamos anteriormente, nas teorias biológicas uma simplificação do objeto de estudo não pode ser realizada, sob pena de se perderem características essenciais a este mesmo objeto. Os seres vivos têm uma complexidade espaço-temporal ineliminável,



que faz com que o seu conhecimento se torne uma tarefa mais laboriosa, com, freqüentemente, menor grau de confiabilidade dos resultados. A complexidade espacial advém deles serem sistemas essencialmente abertos, não só quando às trocas de matéria e energia com o ambiente físico, que lhes são indispensáveis para manter seu alto grau de organização, mas também quanto às inter-relações com os demais seres vivos, que determinam grande parte de suas características. A complexidade temporal tem igualmente dois aspectos: em primeiro lugar, são seres que possuem uma dimensão temporal própria, dada pelo ciclo vital (nascimento, crescimento, envelhecimento e morte); em segundo lugar, porque muitas de suas características não podem ser entendidas exclusivamente pela observação e experimentação no momento presente, mas exigem um conhecimento (hipotético, pelo menos) da história da espécie, na qual, através do processo de seleção natural, foram perpetuadas tais características e não outras.

Além destas dificuldades, decorrentes da própria natureza do seu objeto de estudo, a biologia também está afetada por ambigüidades em suas principais teorias. Vamos começar pela mais abrangente delas, que é a Teoria da Evolução. Esta procura encontrar os princípios que regem o desaparecimento de espécies biológicas e o surgimento de novas espécies, assim como as diversas características dos indivíduos, populações e ecossistemas, que se fixaram através de uma série de mudanças ao longo do tempo. Filosoficamente ela se opõe à idéia de que a natureza seria imutável e a mudança apenas ilusão, idéia que predominou em nossa civilização até o Séc. XVIII. As mudanças que ocorrem na biosfera não seriam, contudo, aleatórias, mas obedeceriam a uma conjunto de regras, que seriam explicitadas na Teoria da Evolução. Uma hipótese aparentemente aceitável foi a levantada pelo lamarckismo, de que as características adquiridas durante a existência dos indivíduos biológicos, em sua adaptação ao ambiente físico, se acumulariam, por meio da herança genética, na existência da espécie, e evoluiriam de acordo com as alterações do ambiente, ou com a localização das populações no ambiente. Mas esta hipótese veio a se revelar simplesmente falsa, pois de fato não ocorre a transmissão genética das características adquiridas. Esta conclusão foi obtida no contexto da genética mendeliana. Aqui já se observa, também, como o fenômeno da interdisciplinaridade é freqüente na Biologia. Teoria da Evolução e Genética são duas disciplinas que mantêm estreito relacionamento, proporcionando alterações recíprocas.

Prevaleceu, como explicação para as mudanças dos seres vivos ao longo do tempo, a hipótese neo-darwinista da seleção natural, que explica tais mudanças com base em dois fundamentos: a) *mutações aleatórias*, que produzem diversidade genética e, conseqüentemente, diversidade fenotípica; b) a *seleção natural*, competição entre indivíduos e espécies, pelos recursos escassos do ambiente, na qual sobrevivem os "mais aptos", através da reprodução diferenciada. As inovações não se devem um "aprendizado" com o ambiente, mas são introduzidas através das mutações, e a ação do ambiente só se faz posteriormente, favorecendo àqueles indivíduos ou populações cujas características fenotípicas (decorrentes das genotípicas) lhes atribuem vantagens na competição pelos recursos ambientais. No contexto darwiniano, portanto, a adaptação não é uma mera relação de adequação entre os seres vivos e o ambiente, mas sim um processo dinâmico, no qual as inter-relações dos seres vivos entre si, e as taxas de reprodução de cada população (dependentes da forma como se processa tal inter-relação), vêm a "selecionar" aquelas que sobreviverão, e poderão perpetuar o seu genótipo.

Seriam as duas regras acima suficientes, para se explicar a estrutura e o funcionamento altamente complexos e coerentes dos seres vivos? Por exemplo, observamos ao longo da evolução que as espécies apresentam, na maioria das vezes, estratégias de sobrevivência (i.é., o modo como agem, para obter os recursos necessários à manutenção da vida) cada vez mais sofisticadas que as de seus predecessores. Ora, que vantagem adaptativa as estratégias mais elaboradas (com maior número de passos para se atingir o objetivo) têm sobre as mais simples? De um ponto de vista estritamente darwinista, teria a espécie humana alguma vantagem seletiva sobre, por exemplo, as amebas, cuja estratégia de sobrevivência é extremamente simples? Uma possível resposta seria que a maior sofisticação da estratégia de sobrevivência conferiria maior autonomia frente às mudanças ambientais; mas, por outro lado, criaria dependência, frente a diversas condições necessárias para o encadeamento dos passos da estratégia.

Além das objeções quanto a sua insuficiência, frente à riqueza dos fenômenos biológicos, existem objeções à teoria darwinista tomada em si mesma. Quanto à aleatoriedade das mutações, autores contemporâneos argumentam que dizemos que elas ocorrem ao acaso porque não conhecemos os mecanismos físico-químicos que as produzem. O avanço do conhecimento mostraria que a alteração do material genético corresponde a um processo bem determinado, o que tem como conseqüência o fato de que

a evolução biológica seria dirigida por fatores físico-químicos em uma proporção maior que a que fomos levados a crer pelo darwinismo. Quanto à seleção natural, para alguns autores não seria uma verdadeira lei científica, porque não permite fazer previsões, com um mínimo de precisão, sobre quais serão os sobreviventes, em um determinado ambiente, e sob determinadas condições razoavelmente conhecidas; para outros autores, seria uma lei científica de tipo probabilística, a partir da qual podemos prever apenas probabilidades de sobrevivência, sem especificar univocamente o estado futuro do sistema.

Esta última alternativa permite-nos resolver, também, uma outra objeção levantada contra a teoria da seleção natural, a saber, a de que ela seria tautológica. Em uma proposição tautológica afirma-se, por exemplo, que alguma coisa é ela mesma. No caso da seleção natural, a tautologia se manifesta quando, em uma situação concreta, para sabermos quais eram os "mais aptos", utilizamos, como critério de sua identificação, a sobrevivência. Para que a teoria não seja tautológica, é preciso que existam critérios, independentes da sobrevivência, para se determinar quais são os mais aptos (por exemplo, adequações morfológicas e psicológicas ao ambiente físico, capacidade de defesa frente aos predadores); conseqüentemente, seria possível que, em determinados casos, os mais aptos não fossem os sobreviventes. Mas, para que a teoria seja verdadeira, é preciso que haja uma relação entre aptidão e sobrevivência. Se entendermos que a seleção natural é um teoria probabilística, poderemos satisfazer aos dois requisitos; por um lado, asseguraríamos que, na maioria dos casos, a inferência entre aptidão e sobrevivência seria válida (o que pode ser testado empiricamente), e, por outro, haveria a possibilidade de exceções (isto é, ocorrência dos fenômenos menos prováveis), o que garantiria seu caráter não-tautológico.

Passando da Teoria da Evolução à Sistemática, seria de se esperar que encontrássemos, na segunda, uma fundamentação para o conceito de *espécie biológica*, utilizado na primeira. Entretanto, existem diversos conceitos de espécie, cada qual defendido por biólogos respeitados, não se tendo, até o momento, atingido um consenso a respeito dos critérios básicos da classificação biológica. O critério proposto por Aristóteles, de que o conjunto dos seres vivos deveria ser completamente distribuído, segundo suas propriedades essenciais (morfológicas, reprodutivas, etc...), em espécies totalmente disjuntas umas das outras, não foi atingido. Para que a classificação proposta seja possível, é necessário que a natureza seja tal que as propriedades essenciais, que

permitiriam as distinções entre espécies, realmente existam. Mas, na prática, somos nós que estabelecemos, de modo aparentemente arbitrário, grupos de propriedades que certos seres possuem, e outros não. Em nossas pesquisas, não tardamos a encontrar seres que têm propriedades pertencentes a dois ou mais grupos, e seres que tem propriedades não pertencentes a nenhum dos grupos que estabelecemos; conseqüentemente, o trabalho taxonômico se revela árduo, e os resultados distantes daquele ideal, chegando alguns estudiosos a se questionar se existiriam mesmo, na natureza, espécies bem distintas umas das outras, ou se este não seria uma conceito inadequado, que teimamos em lhe impor. Destas reflexões surgiram novas propostas de conceituação das espécies biológicas, com base na árvore evolutiva. Existiria, portanto, uma continuidade entre as diversas espécies, dada pela origem filogenética comum, e qualquer proposta de segmentação deste "continuum", não seria capaz de discriminar espécies completamente distintas entre si.

A Genética seria, em princípio, a área da biologia na qual teríamos procedimentos mais rigorosos, devido a sua proximidade com a física e a química, ciências nas quais o método científico moderno se impôs. Mas, aqui também, existem ambigüidades a respeito de noções básicas, como é o caso do conceito de "gene". Na genética mendeliana, os genes eram especificados por dois fatores: sua *função* (que característica (s) fenotípica (s) ele produz) e sua *posição* (qual o seu lugar no cromossomo). Não se conhecia, ainda, a constituição físico-química do gene. Com o advento da genética molecular, foi adicionado um novo fator para a identificação do gene, o *estrutural*, segundo o qual cada gene corresponde a uma determinado segmento de DNA. Posteriormente, ao se notar que estes três critérios eram ainda insuficientes para se entender o complexo mecanismo de produção das enzimas, tentou-se relacionar os genes com o funcionamento da célula como um todo, levando-se em conta o chamado aspecto *sistêmico* do gene. Embora se observe, na história do conceito de "gene", um progresso no seu entendimento, que acompanha o espetacular progresso experimental da Genética, ainda não se chegou a uma uniformidade do seu significado, sendo que este conceito é usado com diferentes sentidos pelos diversos cientistas, cada uma priorizando um dos aspectos apontados acima.

As áreas da Biologia ligadas à ontogênese, assim como os estudos de Fisiologia, se deparam com o clássico problema do "princípio organizador", que levou Driesch à hipótese vitalista: dada a relativa simplicidade da informação genética, como explicar a espetacular coordenação, de uma infinidade de processos bioquímicos, ao longo da

constituição das estruturas do organismo, e da sua manutenção? O recurso aos fatores ambientais é aqui de pouca valia, visto que o desenvolvimento do ser vivo se faz de maneira autônoma; a maior parte de suas propriedades morfológicas e fisiológicas são determinadas por fatores internos, só podendo o ambiente acelerar, retardar ou inviabilizar este processo. Reducionistas como Monod tentaram explicar os fenômenos do desenvolvimento e manutenção do organismo como devidos à ação reguladora das proteínas, que, por sua vez, são produzidas pelo material genético, tornando, assim, desnecessário o recurso a uma "princípio organizador" suplementar, que seria substituído pelo "programa" genético. Entretanto, em certas áreas, por exemplo, a Embriologia, existem algumas noções, como a de "campo morfogenético", utilizada corriqueiramente, que estão mais próximas de uma visão holística do organismo.

As áreas de estudo que levam em conta a ação do sistema nervoso, em espécies nas quais este sistema veio a se desenvolver a ponto de comandar o comportamento, apresentam maior grau de dificuldade, no que se refere à delimitação dos problemas a serem estudados, dos fatores relevantes para sua apreciação, e das teorias e explicações a serem fornecidas. Nós não temos acesso experimental à consciência que um animal tem dos estados de seu próprio sistema nervoso. Quando observamos ou manipulamos o cérebro de um animal, temos acesso apenas aos seus componentes físico-químicos, mas ainda não temos meios de apreender o conteúdo informacional ali retido e processado, conteúdo ao qual apenas o próprio animal tem acesso. Consequentemente, tendemos a interpretar a ação do sistema nervoso do animal por intermédio de suas conseqüências observáveis: gestos, posturas, alterações bioquímicas detectáveis com nossos meios experimentais atuais, ou então pela eficácia adaptativa do seu comportamento, frente aos estímulos do ambiente, o que nos permite apenas fazer conjecturas, que não são tão confiáveis quanto seria de se desejar. As lacunas existentes nas observações do comportamento animal não raramente são preenchidas por comparações com nossos próprios estados de consciência, que são os únicos a que temos acesso.

As anotações acima, a respeito das áreas de estudo mais abrangentes da Biologia, embora estejam longe de ser exaustivas, nos mostram que as teorias existentes ainda estão em um processo de amadurecimento, o qual, por sua vez, está correlacionado com o imenso progresso do conhecimento biológico em nosso século. Isto significa que a falta de consenso, sobre as questões mais básicas, em boa parte reflete tal processo de

desenvolvimento, a necessidade de incorporação de uma grande quantidade de dados novos, e não uma deficiência estrutural, que prejudicasse o estatuto da biologia enquanto ciência.

#### **4.4 - Tipos de Explicação na Biologia**

A maneira padronizada de explicar um fenômeno é apontar as "causas" que o produzem ou condicionam. Isto é apropriado ao objetivo da ciência, de se descobrir os fatores através dos quais podemos controlar a ocorrência dos fenômenos. Mas existem outros tipos de explicações, na Biologia, em que mostramos uma *razão* pela qual o fenômeno ocorre, sem apontar diretamente para uma causa que o produza ou condicione. Alguns autores contestam as explicações não-causais, como sendo insuficientes, ou mesmo não-científicas, mas o fato é que são muito utilizadas, para explicar fenômenos cujas causas são difusas, muito numerosas ou muito difíceis de localizar no tempo. Certos problemas podem ser, inicialmente, respondidos através de uma hipótese explicativa não-causal, para, subsequente, a resposta ser reformulada em uma hipótese causal; nestes casos, a explicação não-causal tem um papel heurístico, ou seja, de facilitar a descoberta da formulação causal.

Os tipos de explicação mais presentes na Biologia são:

a) *Explicações Causais*: Segundo o filósofo David Hume, existem dois critérios para determinarmos empiricamente a(s) causas(s) de um fenômeno: *regularidade* e *anterioridade*. A causa de um fenômeno é um outro fenômeno que ocorre, regularmente, próximo a ele no espaço e no tempo, e que é temporalmente anterior. Nossos testes experimentais nos permitem verificar se esta regularidade não é uma mera coincidência (neste caso, trata-se de uma correlação casual e não de uma relação causal); se não for acidental, podemos inferir (indutivamente) que o primeiro fenômeno participa da produção do segundo. Como veremos adiante, a causa pode ter diferentes papéis na produção do efeito, motivo pelo qual deixaremos a discussão e exemplificação das explicações causais para nosso item 4.5.;

b) *Explicações Formais*: são explicações nas quais mostramos *como* um fenômeno ocorre, sem explicitarmos o porque, ou as condições nas quais ocorre ou deixa

de ocorrer. É o tipo de explicação utilizado nas áreas descritivas da biologia, cujo objetivo é apenas o de obter e sistematizar os dados, oferecendo uma imagem mais clara e apurada do fenômeno em questão. A maneira mais proveitosa, de se oferecer uma explicação formal, é exibindo o conjunto de funções matemática a que o fenômeno "obedece", ou, nos casos em que a quantificação não for apropriada, algum outro tipo de ilustração, que nos permita visualizar a forma do fenômeno. Um outro instrumento, desenvolvido recentemente, que possibilita a elaboração de explicações formais, é a determinação da *dimensão fractal* do objeto de estudo, um assunto que, infelizmente, não teremos condições de aqui desenvolver;

c) *Explicações Teleológicas*: trata-se do tipo de explicação, muito utilizada na biologia, na qual justificamos a ocorrência de um fenômeno como servindo ao cumprimento de um fim, ou de um objetivo. Por exemplo, quando afirmamos que "o coração bate para fazer o sangue circular", estamos explicando o batimento cardíaco como servindo a uma finalidade, a de fazer o sangue circular. Este tipo de explicação é bastante questionável, pois, como podemos notar neste exemplo, inverte a relação entre causa e efeito; dá a entender que a "causa" do batimento cardíaco é a circulação sanguínea, quando, na verdade, é o batimento cardíaco que causa a circulação.

Além disso, sabemos que é apenas através da ação de um sistema nervoso desenvolvido, como o primata, que os seres vivos podem ter "intenções", isto é, direcionamento consciente de suas ações, com vistas a obter um fim. Tornam-se, então, bastante questionáveis afirmações como "o cão abana o rabo para demonstrar sua satisfação com a presença do dono". O cão não teria a intenção de relacionar uma ação (abandar o rabo) com uma finalidade (mostrar ao dono sua alegria com a presença dele); esse tipo de explicação, na verdade, substitui a explicação causal correspondente, que seria muito complicada, envolvendo a história da espécie, através da qual se fixou tal comportamento. A explicação seria mais ou menos a seguinte: em uma espécie com genótipo 1, fatores diferenciais na replicação do DNA geram descendentes com genótipo 2, que produzem fenótipos com características novas de comportamento (frente a um certo estímulo, responder com certo padrão fixo; no nosso caso, abandar o rabo na presença de um indivíduo socialmente significativo para o animal); no processo seletivo, tal fenótipo se revela vantajoso adaptativamente, conseqüentemente os indivíduos que o possuem se reproduzem em maior proporção que os demais, e assim o genótipo 2, que gera tal tipo de

comportamento, é fixado majoritariamente na espécie. Então, traduzir aquela explicação finalista, relativamente simples, em uma explicação causal, requer um longo desenvolvimento, o qual, em muitas situações, não queremos levar a cabo, motivo pelo qual usamos, nestas situações, as explicações teleológicas. Embora não explicando efetivamente o fenômeno, estas nos apontam algumas pistas, que podem auxiliar uma explicação mais adequada.

Para alguns autores da corrente vitalista, entretanto, a teleologia, ou orientação para um fim, é uma característica fundamental dos seres vivos, que distinguiria radicalmente a Biologia das ciências físicas. Todo o processo evolutivo seria direcionado pela "energia vital" à realização de um fim. Só assim seria possível entender uma série de dados da história evolutiva, que parecem convergir de maneira não acidental. Este tipo de posicionamento filosófico frente à evolução se harmoniza perfeitamente com crenças religiosas, difundidas inclusive entre biólogos.

d) *Explicações por vicariância*: neste tipo de explicação, a *ausência* de um determinado fator é apontada como responsável pela ocorrência de um fenômeno. Embora se use muitas vezes a palavra "causa", neste contexto, não se trata de uma verdadeira explicação causal, porque alguma coisa que está ausente não pode, a rigor, causar um efeito que está presente. Por exemplo, quando se afirma que "a ausência de ferro no organismo causa anemia", trata-se de uma explicação por vicariância, e não de uma explicação causal, pois o que verdadeiramente causa a anemia são os demais fatores, que atuam na ausência do ferro. Assim como as explicações finalistas, estas também parecem ser insuficientes, mas podem auxiliar no processo de descoberta de melhores explicações.

#### **4.5 Tipos de Causação na Biologia**

Uma explicação causal é uma esquema que aplicamos às coisas. Ela pode ser feita de diversas maneiras, escolhendo-se, em cada caso, a que se julga ser a mais apropriada. Os seres vivos são objetos de estudo muito complexos; conseqüentemente, a explicação dos fenômenos a eles relacionados, em termos de relações causais, requer, muitas vezes, a elaboração de esquemas de causação também complexos. Vamos, inicialmente, estudar os tipos de relacionamento *entre uma causa e um efeito*, para, posteriormente, estudar os *processos* causais, mais apropriados para explicar os fenômenos biológicos. Existem



quatro esquemas de causação, entre uma única causa e um único efeito, que dão origem a quatro diferentes tipos de testes experimentais, da hipótese que os contenha:

a) *a causa é condição necessária e suficiente do efeito*: isto significa que, sem a ocorrência da causa, o efeito não pode ocorrer (condição necessária), e que basta a ocorrência da causa para a ocorrência do efeito (condição suficiente). Exemplo: "Uma alteração no cromossomo 21 causa o mongolismo". Não existe caso de mongolismo sem uma certa alteração no cromossomo 21, e não existe tal alteração sem os sintomas do mongolismo;

b) *a causa é condição suficiente e não-necessária do efeito*: basta a causa para que o efeito ocorra, mas o efeito pode ocorrer sem a presença desta causa (isto é, pode ter outras causas). Exemplo: "O seccionamento do pescoço pela guilhotina causa a morte", ou, no caso de condicionamento clássico, "O toque da campainha causa a salivação do cão";

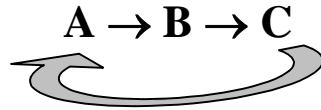
c) *a causa é condição necessária e não-suficiente do efeito*: o efeito não pode ocorrer sem a causa, mas para que a causa produza o efeito, são necessárias condições suplementares. Exemplo: "O vírus da hepatite causa a hepatite";

d) *a causa é condição não-necessária e não-suficiente do efeito*: também chamada "causalidade probabilística", pois a presença da causa aumenta a probabilidade de ocorrência do efeito, sem, contudo, ser necessária nem suficiente para produzi-lo. Exemplo: "Fumar causa câncer".

Vejam agora os tipos de processos causais, ou seja, tipos de esquemas causais nos quais estão envolvidas diversas relações causais (sendo que cada uma delas pode ser dos quatro tipos acima). Existem basicamente três tipos de processos causais, e um quarto, que resulta da combinação dos três primeiros, em um mesmo sistema. O tipo de processo causal mais simples é a *causação linear*, na qual temos uma série de fatores encadeados em uma única linha causal, onde o efeito de um é a causa do subsequente, por exemplo:

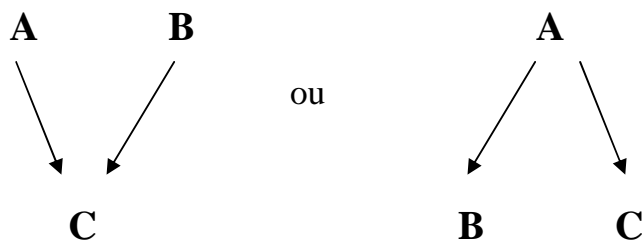
$$\mathbf{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D}$$

Um segundo tipo de processo, bastante freqüente nos estudos de Biologia, é a *causação circular*, na qual a linha causal forma um anel fechado, por exemplo:



Relacionadas à causalidade circular, estão as noções de *retroalimentação* (do inglês "feed-back"), e de *homeostase*. Ocorre retroalimentação quando o sistema altera sua ação causal sobre o meio, de acordo com as alterações da ação causal do meio sobre ele. A retroalimentação pode ser positiva ou negativa. É positiva quando os resultados de uma certa ação do sistema sobre o meio o levam a intensificar a ação; e é negativo quando os resultados o levam a inibi-la. Um mecanismo homeostático é uma combinação de dois mecanismos de retroalimentação negativa, de modo a garantir a estabilidade do sistema (i.e., manter certas variáveis dentro de um certo intervalo de valores). Por exemplo, o mecanismo da regulação de temperatura de uma casa, no qual temos um termômetro ligado a um condicionador de ar. Quando a temperatura ultrapassa os 30°, o condicionador é acionado para resfriamento; quando a temperatura cai abaixo dos 15°, o condicionador é acionado para aquecimento. Desta maneira, a temperatura ficará sempre no intervalo [15° - 30°].

Um terceiro tipo de processo é o de "forks" (bifurcações) causais, que pode ser de dois tipos: "fork" de causa comum ou "fork" de efeito comum:



No primeiro caso, um único fator é suficiente para produzir dois efeitos distintos; no segundo, ocorre o concurso de dois fatores distintos, para a produção de um único efeito. O esquema de causa comum é muito utilizado para se explicar casos em que dois

fenômenos ocorrem sempre juntos, de maneira não acidental, sem que um seja a causa do outro. O esquema de efeito comum é especialmente útil para quando precisamos explicar fenômenos produzidos pela conjunção de diversos fatores, como, na Biologia, a conjunção de fatores genéticos e ambientais, na produção de determinado tipo de comportamento.

Finalmente, temos o esquema, bastante usado atualmente, em simulações das funções biológicas no computador, das *redes causais* ("networks"), que consiste na combinação de processos causais entrelaçados para gerar, na totalidade do sistema, efeitos cujas causas não podem ser localizadas em nenhum de seus componentes em particular. O estabelecimento deste tipo de relação causal só se tornou possível através do computador, pois a mente humana não tem condições de computar o funcionamento de uma rede com muitas relações causais simultâneas. Abre-se, assim, uma nova possibilidade de estudo dos fenômenos biológicos, que parece ser a que mais se aproxima da sua complexidade.

## **CAPÍTULO 5 - TEORIA GERAL DOS SISTEMAS**

### **5.1 - O Conceito de “Sistema”**

A teoria geral de sistemas é uma área de estudos interdisciplinar (e transdisciplinar, no sentido em que as disciplinas não são meramente justapostas, mas ocorre uma síntese do conhecimento), onde se supõe que existam princípios gerais para o entendimento da constituição e operação de diversos tipos de sistemas, nas diversas áreas do conhecimento. Ela foi originalmente formulada na década de 50, por um pensador de formação biológica, Ludwig Bertalanffy, e tem sido usada na Engenharia e Administração de Empresas, na Física e Matemática (Sistemas Dinâmicos), nos estudos interdisciplinares da Cibernética (teoria geral da regulação de mecanismos) e Teoria de Informação. Pretendemos nesse capítulo fornecer subsídios para a aplicação da Teoria Geral de Sistemas na área biológica, onde ela tem sido relativamente pouco usada, com exceção da Genética Molecular (vide os trabalhos de Jacques Monod, François Jacob e Jean-Pierre Changenx, sobre o óperon e as regulações alostéricas) e da Ecologia (vide, por exemplo, o trabalho de Eugene Odum).

Antes de definir "sistema", vamos levar em consideração alguns exemplos. Na física clássica, encontramos estudos de sistemas simples (de poucos componentes e com poucas interações entre eles), como os pêndulos. O comportamento dos pêndulos é simples, pois, supondo-se sua energia total constante, e ausência de atrito, seu movimento periódico pode ser descrito como um intercâmbio de energia potencial e energia cinética, tal que a soma de ambas seja constante. Um outro exemplo de sistema, freqüentemente citado nos Séculos XVII e XVIII, é o relógio mecânico, que já apresenta um maior número de componentes e de interações, de modo que o comportamento global (marcação do tempo) apresenta um significado novo, em relação aos componentes analisados separadamente. Contudo, seu comportamento não é complexo, pois os componentes estão conectados entre si de modo muito justo, ou seja, eles não têm "liberdade" de movimento uns em relação aos outros, exceto naqueles movimentos que caracterizam o funcionamento regular do relógio.

No século XIX, uma grande atenção foi dada a sistemas formados por um gás dentro de um recipiente, os quais, além da complexidade de constituição, também

apresentam complexidade comportamental, uma vez que as moléculas do gás possuem "graus de liberdade", umas em relação às outras. Uma maneira de evitar que essa complexidade impedisse uma descrição exata, ou mesmo probabilística, do comportamento destes sistemas, foi a adição de suposições simplificadoras dos cálculos, como as suposições de que todas as colisões (entre as moléculas, e destas com as paredes do recipiente) são perfeitamente elásticas, que as moléculas têm forma esférica, e que estão distribuídas uniformemente ao longo do recipiente. Tais suposições deram origem à analogia entre o choque das moléculas e um jogo de bilhar.

Da biologia veio o exemplo do sistema celular, unidade básica da vida, constituído por componentes não-vivos (núcleo, citoplasma, membrana, etc...) os quais, em sua interação, geram como resultado o fenômeno da vida. A constituição e funcionamento da célula foram sendo progressivamente conhecidos, ao longo do desenvolvimento da Biologia no Século XX. Já no início do século, duas de suas características eram de maior interesse para o estudo dos sistemas, pois não eram encontradas nos sistemas físicos até então: em primeiro lugar, o fato da célula, enquanto sistema aberto, ser capaz de regular seus níveis de atividade e o intercâmbio de materiais com seu exterior; e sua capacidade de duplicação, ou seja, de produção de outro sistema semelhante. Com o advento da teoria da evolução darwiniana, os biólogos começaram a se interessar por sistemas de alto grau de complexidade, os *ecossistemas*, constituídos por diversas populações de seres vivos (cada qual, por si só, já constituindo um sistema de sistemas celulares) em interação recíproca, e com o meio físico. Ecossistemas abrangem grande número de componentes, e admitem vários tipos de relações entre estes componentes; porém, ao invés de apresentarem um comportamento totalmente caótico, surpreendentemente seguem padrões de evolução bem definidos, que constituem o processo de *sucessão ecológica*.

No estudo de sistemas formados por indivíduos humanos, como as organizações empresariais, se revelou uma nova dimensão, o comportamento dirigido para objetivos. Os sistemas constituídos pelo homem, mesmo quando incorporam componentes físicos e biológicos, freqüentemente só podem ser entendidos em relação ao fim para o qual foram criados ou organizados. A utilização desta noção de finalidade (ou "teleologia") para sistemas não-humanos é discutível, embora já fosse feita desde Aristóteles. Para caracterizar a atividade dirigida dos demais seres vivos, a qual, diferentemente do homem,

foi proposto o termo "teleonomia" (ver 4.4). Discutimos a respeito de sistemas teleológicos e teleonômicos logo adiante (item 5.4).

Após levarmos em conta a diversidade de sistemas existentes, a partir dos exemplos citados, poderemos agora tentar encontrar uma definição geral de "sistema".

## **5.2. O Método da "Caixa-Preta"**

Chamamos de "caixas-pretas" a todos os objetos, dos quais conhecemos suas interações com o ambiente que os cerca, mas não conhecemos o que ocorre em seu interior (i.é, não conhecemos seus "mecanismos" internos). No caso de um sistema *isolado*, que não troca matéria, energia ou mesmo informação com o exterior, não temos condições de estudá-lo como uma "caixa preta". Nos casos de sistemas *fechados*, que não trocam matéria, mas trocam energia e informação, ou no caso dos sistemas *abertos*, que trocam também matéria, se conhecermos o que trocam com o exterior poderemos defini-los como *processadores* que realizam uma determinada função. Vamos agora supor que, no interior desse sistema, existam outros sistemas, que chamaremos de "subsistemas", os quais também são inicialmente tomados como caixas-pretas. Então, conhecendo os subsistemas, e as relações que mantêm entre si e com o exterior do sistema maior no qual estão incluídos, podemos vir a entender como funciona este sistema maior. Além disso, podemos também conhecer os elementos constituintes de cada subsistema, e as relações desses elementos entre si, o que possibilita entender os "mecanismos" dos subsistemas, aprofundando ainda mais o conhecimento de sistema maior. Ao final desse processo, nossas "caixas-pretas" serão os elementos dos subsistemas, mas os próprios subsistemas que no início eram "caixas-pretas" ao longo do estudo se tornaram "caixas translúcidas" (expressão criada por Mario Bunge). Portanto, "caixa preta" é um noção metodológica, que serve como indicador de um objeto de estudo, do qual conhecemos seus contornos espaço-temporais, e suas interações com o ambiente externo. À medida em que nosso estudo progride, nossas "caixas-pretas" serão os componentes de escala cada vez menor do sistema, cujos mecanismos pouco a pouco vão sendo elucidados. Mas nós nunca chegaremos aos elementos últimos do sistema (o que é bem ilustrado no estudo do "átomo", onde são encontradas subpartículas cada vez menores), de modo, que no limite inferior (em termos de escala de grandeza) do sistema estudado sempre teremos "caixas-pretas".

Apresentaremos agora uma definição de "sistema", no contexto de uma Teoria Geral de Sistemas (TGS). Um *sistema* é uma totalidade espaço-temporal, que, com exceção dos sistemas isolados, apresenta "entradas" e "saídas" de matéria, energia e/ou informação, sendo que as funções que realiza são desempenhadas pelas interações entre seus subsistemas e elementos básicos, cuja constituição nos é desconhecida, ou desinteressante do ponto de vista do entendimento do sistema maior. Uma *visão sistêmica* é um enfoque científico que se preocupa com a totalidade formada pelas interações entre subsistemas e respectivos elementos, recusando um entendimento desses componentes dissociado da dinâmica da totalidade do sistema. Acredita-se que o tipo de interação entre os componentes seja responsável pelas funções características do sistema maior.

Com base nas noções expostas acima, podemos distinguir entre três tipos de visões sistêmicas. A visão *holística* é aquela que sustenta existirem funções desempenhadas pelo sistema como um todo que não podem ser explicadas exclusivamente a partir das propriedades dos seus componentes, ou mesmo por intermédio das interações entre os mesmos. A visão *reducionista* é aquela que sustenta que as propriedades da totalidade dos sistemas podem ser explicadas exclusivamente pelas propriedades de seus componentes. A visão *interacionista* sustenta que as funções desempenhadas pelo sistema são produzidas (e explicadas) pelas interações entre seus componentes. De nossa perspectiva, a visão interacionista absorve e supera as limitações do holismo e do reducionismo.

### **5.3 - O Observador e o Processo de Modelagem**

Entendemos por "observador" qualquer agente cognitivo (homem, robô, marciano...) que seja capaz de delimitar um sistema, e estudá-lo. Para fazê-lo, ele terá que progressivamente definir:

a) as fronteiras espaciais e temporais do sistema (o que, em física, se chama de "condições de contorno");

b) as entradas e saídas do sistema (o que também se inclui nas "condições de contorno");

c) quais são os subsistemas, os elementos dos subsistemas e as relações entre subsistemas e entre elementos.

Diferentemente da física-matemática, na TGS não temos condições de estabelecer o estado inicial do sistema, uma vez que ele se apresenta como um "caixa-preta" para o observador. Esse aspecto faz com que a TGS possua um campo de aplicação prática maior que a dos Sistemas Dinâmicos. Embora o observador se baseie em dados obtidos por meio do exame dos sistemas, como é ele próprio quem define aquilo que entende como sendo o sistema estudado, é possível que dois observadores diferentes definam sistemas diferentes, a partir do exame de uma mesma situação. Para evitar que isso gere um conflito entre ambos, dizemos que seus estudos constituem *modelos possíveis* daquela situação, mas não supomos que um deles seja necessariamente verdadeiro e o outro falso, uma vez que é admissível que uma mesma realidade seja modelada de diferentes maneiras. Por exemplo, ao definir o que entendem como sendo o sistema estudado os dois (ou mais) observadores podem utilizar diferentes escalas de grandeza espaço-temporal, um deles definindo o sistema no nível macroscópico; outro, no nível químico-molecular, e um terceiro, no nível atômico. Diferentes opções de escalas de grandeza gerarão estudos bastante diferenciados, embora se referindo a uma mesma realidade. Mas se dois ou mais modelos estiverem adequados a uma mesma realidade, deverão possuir um núcleo em comum. Um exemplo disso seria o seguinte: um engenheiro eletrônico define como seu sistema de estudo uma dado computador, incluindo seu software, mas sem levar em conta sua ligação com uma rede do tipo Internet; outro engenheiro eletrônico estuda o mesmo computador, porém conectado a uma rede. A admissão dessa conexão de entrada e saída de informação pode fazer com que o funcionamento dos dois sistemas, aparentemente idênticos, seja, do ponto de vista do usuário, bastante diferente. Incluir ou não essa conexão na definição do sistema é de livre escolha do observador. Mas, apesar da diferença, os dois sistemas têm uma parte em comum, que é o computador em questão.

#### **5.4 - Estrutura, Função, Organização e Programa**

As quatro noções acima são essenciais para o desenvolvimento do estudo de um sistema. De certo modo, nós já as mencionamos, direta ou indiretamente, ao falar sobre



sistemas, mas aqui pretendemos realizar uma distinção mais rigorosa, que impeça que sejam mal usadas, ou confundidas entre si, o que infelizmente não é pouco freqüente:

a) *Estrutura* do Sistema: a estrutura é constituída pelos elementos e relações constantes do sistema, ou seja, aqueles que não se alteram, ou que se alteram mas são repostos, ao longo da operação do sistema. Nem sempre a estrutura de uma sistema é conhecida no início do processo de observação; o mais seguro é identificá-la ao final do processo (como já indicou Aristóteles, quando se referiu às "propriedades essenciais" de um ser), a não ser que a estrutura já tenha sido bem identificada em estudos de outros sistemas do mesmo tipo, como por exemplo os cromossomos nos sistemas celulares;

b) *Função* do Sistema: cada função particular do sistema é uma atividade específica e regular que ele realiza, e a função total é uma composição das diversas funções particulares, que pode ser identificada pelas entradas e saídas do sistema. Cada atividade compreende pelo menos uma alteração de estados dos componentes e/ou do meio externo, sendo que essa alteração pode ser representada por meio de funções matemáticas, onde o estado antes das alterações consta como um elemento do domínio da função, e o estado alterado consta como um elemento da imagem da função. Como as funções são alterações regulares, a cada elemento do domínio é associado apenas um elemento do contra-domínio. Tal regularidade é garantida por mecanismos de regulação material, energética e/ou informacional;

c) *Organização* do Sistema: a organização de um sistema é constituída pela totalidade das relações que os componentes do sistema mantêm entre si, em determinado momento, definindo um determinado padrão de conexão. Ao longo da evolução do sistema, um padrão pode dominar ininterruptamente, ou então vários padrões podem se suceder; ou seja, a organização não é fixa, como a estrutura, mas varia de acordo com os estados obtidos pelos subsistemas e respectivos elementos. As relações estruturais, que são fixas, podem ser ativadas ou inativadas, com diferentes intensidades, de modo que contribuem mais para o funcionamento do sistema aquelas relações estruturais que são ativadas com maior freqüência e/ou intensidade. Além destas, a organização de um sistema também engloba as relações não estruturais, que se estabelecem durante um certo intervalo de tempo, e desaparecem posteriormente. Desse modo, as interações efetivas entre os componentes, que constituem suas funções, dependem não só dos componentes

estruturais, mas de toda a organização que se estabeleceu previamente no sistema. Chamamos de "evolução sistêmica" à trajetória de mudanças organizacionais de um sistema;

d) *Programa* do Sistema: trata-se de um componente informacional estrutural, existente em certos tipos de sistemas, como os seres vivos e computadores. Sua peculiaridade é a de especificar relações que irão se estabelecer no sistema ao longo do tempo, por meio de regulações, desencadeadas a partir do componente informacional estrutural. O programa é a parte da estrutura que, além de se manter invariante, exerce uma ação organizadora sobre outras partes do sistema, através de uma ação progressiva (isto é, em diversas etapas) ao longo do tempo. Assim, por exemplo, uma determinada parte do genoma humano determina ao longo do processo morfogênético (embriogênese) a organização celular típica dos órgãos digestivos (fígado, pâncreas, etc.....), que lhes possibilita desempenhar suas funções típicas.

Estreitamente relacionada à noção de programa, está a noção de *teleonomia*. Os sistemas naturais e artificiais podem ser classificados em dois tipos: aqueles que possuem uma direção de suas atividades, e aqueles que não possuem este tipo de direcionamento. Os primeiros se subdividem em teleológicos e teleonômicos, enquanto os segundos constituem os sistemas estritamente causais. Os sistemas estritamente causais podem ser explicados por meio das relações de causa e efeito, incluindo aqui também as regulações informacionais. Para o entendimento dos sistemas teleológicos e teleonômicos, por outro lado, é preciso fazer referência aos *objetivos* que, de modo planejado ou espontâneo, perseguem. Uma explicação de suas atividades em termos puramente causais seria insuficiente para se entender o seu comportamento. Os sistemas teleológicos são aqueles planejados, construídos e/ou gerenciados, com *a intenção de obtenção de um fim*. Um exemplo é a empresa, que é voltada para a obtenção de resultados, como a geração de um produto, a satisfação do consumidor e o lucro dos seus proprietários. Os sistemas teleonômicos são aqueles sistemas que possuem um programa que os conduz, *de modo não-intencional*, à realização de um fim. Um exemplo é o das plantas, que executam uma série de atividades, que tornam possível sua sobrevivência e reprodução. Estas atividades não são intencionais; não é correto dar explicações teleológicas para o comportamento dos seres vivos, exceto para aqueles dotados de um sistema nervoso complexo, capaz de lhes propiciar um comportamento intencional.

Quando o ser humano interage com a natureza, pode haver um conflito entre suas finalidades intencionais, e o direcionamento espontâneo dos sistemas naturais. Por exemplo, quando um engenheiro florestal, funcionário de uma empresa madeireira, traça suas diretrizes para exploração de uma floresta, deve procurar compatibilizar seus objetivos (p. ex., aproveitamento de uma espécie de estágio clímax), com o processo de sucessão ecológica no ecossistema, que depende dos programas incrustados nos genomas de cada espécie, e das interações dessas espécies entre si, e com o meio físico. A empresa madeireira só terá sucesso, a longo prazo, se os seus objetivos forem compatíveis com a direção espontânea da evolução do ecossistema; no caso contrário, ou a empresa destruirá o ecossistema, ou então não conseguirá extrair os materiais em quantidade suficiente para sua viabilidade econômica. A partir de um estudo da sucessão ecológica nesse ecossistema, o engenheiro florestal poderá optar por soluções, como a pela combinação da extração de espécies clímax com espécies pioneiras, e respectivos reflorestamentos.

### **5.5 - Interações Intra-Sistêmicas**

Os subsistemas identificados devem corresponder a unidades de processamento material, energético ou informacional. Cada subsistema deve ser responsável por desencadear ou regular determinados processos, que podem ser de três tipos (ver Le Moigne, p.106):

- a) *armazenagem* de matéria, energia e/ou informação;
- b) *transporte* de matéria, energia e/ou informação;
- c) *transformação* de matéria, energia e/ou informação.

As interações entre os subsistemas constituem a atividade do sistema maior; portanto, através do estudo da função de cada subsistema, e das relações deles entre si, poderemos entender o funcionamento do sistema maior. A definição da(s) função(ões) de cada subsistema leva em conta suas entradas e saídas. Quando a saída de um subsistema constitui a entrada de um outro subsistema, ou vice-versa, dizemos que existe uma

*conexão* entre ambos os subsistemas. A organização do sistema maior pode então ser identificada como o conjunto dos conexões entre seus subsistemas.

Energia é uma quantidade física existente em várias formas (elétrica, calorífica, química, atômica, etc.....), que se propaga entre sistemas ou entre as partes de um sistema. Todos os processos que ocorrem nos sistemas, sejam eles de armazenagem, transporte ou transformação, envolvem alterações de energia. Alguns dos fenômenos produzidos por meio destes processos podem ser considerados puramente energéticos (como, por exemplo, a fervura de um líquido, ou o funcionamento do motor de um automóvel). Mas existem processos nos quais a alteração energética é de pequeno porte, porém as consequências organizacionais são de grande porte. São os *processos informacionais*, nos quais determinados tipos de sinais são armazenados, transmitidos e/ou transformados pelo sistema, propiciando ao mesmo parâmetros de regulação de suas atividades. Como os sinais envolvem uma quantidade pequena de energia, seu estudo do ponto de vista energético não é capaz de revelar o seu papel no funcionamento do sistema. Para se entender os processos informacionais, foram desenvolvidas novas categorias de análise, que constituem a *Teoria da Informação*. Vamos aqui introduzir, brevemente, algumas de suas características:

- a) um processo informacional se realiza entre pelo menos 2 sistemas, um deles sendo a *fonte* e o outro o *receptor* de informação;
- b) a fonte é um sistema que pode ficar em  $n$  estados possíveis. O fato de, em determinado momento, a fonte estar em um estado  $n_1$ , e o registro deste fato pelo receptor, constitui um *processo informacional*;
- c) a *quantidade de informação* transmitida é inversamente proporcional à probabilidade  $N_x/N$ , e é medida em função da quantidade de escolhas binárias (bits) necessária para especificar o evento  $N_x$  (por exemplo, se a probabilidade é  $1/16$ , então são necessárias 4 escolhas binárias para especificar o evento). O número de bits é igual a  $\log_2 N_x/N$ ;
- d) através dos processos informacionais acima, a organização interna do receptor é regulada pelos estados obtidos na fonte, de modo que, quanto maior a

quantidade de informação transmitida, maior a correlaco entre a organização interna do receptor e a organização existente na fonte;

- e) a transmissão de informação pode ser prejudicada pelo *ruído*, afetando o *canal* que liga a fonte ao(s) receptor(es).

Os processos informacionais têm grande relevância para o funcionamento dos sistemas, porque permitem a tomada de *decises* adequadas relativamente a seus objetivos. Uma decisão é uma escolha, consciente ou não, entre duas ou mais alternativas de organização sistêmica. Tomemos como exemplo de decisão o papel desempenhado por um rel num circuito elétrico. A regulação informacional pode fazer com que as decises essenciais sejam tomadas com baixo custo energético, e com alto ganho operacional, por exemplo a regulação do metabolismo pelas proteínas alostéricas.

Os sistemas costumam apresentar certos *padres de conexão* na organização de seus subsistemas, e respectivos elementos internos. Existem aqueles sistemas em que predomina um padro *vertical*. São os sistemas hierárquicos, onde alguns processadores comandam o funcionamento de outros processadores, localizados em um nível inferior. Existem sistemas com um padro *horizontal*, os sistemas cooperativos, em que os processadores se localizam em um mesmo nível, se influenciando reciprocamente.

Além disso, podemos distinguir entre sistemas com uma disposição organizacional *linear* de suas unidades de processamento (estão dispostos em uma única seqüência, onde a "entrada" de uma unidade é a "saída" de outras), e com uma disposição *distribuída*, em que as unidades de processamento formam uma rede de interações, na qual o fluxo ocorre simultaneamente em várias direções. Neste último padro,  necessário que os processadores possuam uma capacidade de conexão maior do que na disposição linear, onde só são necessárias uma única entrada e uma única saída para cada um deles. Um exemplo de processador com múltipla conectividade é o neurnio, que consegue, através de seus diversos dendritos e axnio, se conectar simultaneamente com milhares de outros neurônios.

Igualmente importante é o mecanismo de *retroação*, pelo qual as saídas de um processador interferem, diretamente ou indiretamente, em suas entradas. A retroação pode

ser *positiva*, quando um incremento das saídas produz um incremento nas entradas e, conseqüentemente, no nível de atividade do sistema, ou *negativa*, quando um incremento das saídas produz uma inibição das entradas, e do respectivo nível de atividade. Do mesmo modo, na retroação positiva uma diminuição da intensidade das saídas gera uma diminuição nas entradas, e, na retroação negativa, uma diminuição nas saídas gera um aumento nas entradas.

Por intermédio dos mecanismos de retroação, um sistema estruturalmente simples pode vir a apresentar um comportamento bastante complexo. Isto é evidenciado no estudo dos sistemas dinâmicos chamados de *caóticos*, nos quais uma diferença de condições iniciais de pequena magnitude, pode conduzir a trajetórias amplamente divergentes, ao longo de sua evolução temporal. Essa divergência pode ser descrita pela operação matemática de *iteração*, em que o valor de uma função em  $t_2$  depende do valor da mesma função em  $t_1$ , correspondendo a um mecanismo de retroação positiva. Exemplos físicos desse tipo de processo estão sendo atualmente muito estudados, a partir do trabalho pioneiro de Ilya Prigogine sobre o fenômeno de autocatálise nas reações bioquímicas. Por meio da iteração de valores, também são geradas figuras chamadas de *fractais*, que apresentam, entre outras características, a propriedade de auto-similaridade. Isto significa que elas apresentam uma mesma forma geométrica, em diferentes escalas de grandeza (por exemplo, em uma árvore, o desenho dos veios das folhas se assemelha ao desenho de seus galhos).

Para a compreensão dos diferentes padrões de conectividade, é utilizada uma *representação matricial* da organização (Le Moigne, p. 115). Na matriz, podemos identificar as retroações diretas e indiretas, relações de hierarquia ou cooperação (elementos que têm mais entradas e mais saídas) e ordem linear ou em rede (quantidade de entradas e saídas por elemento).

Ao entrarem em interação, os subsistemas passam a ter atividades que não possuíam antes. Desse modo, a organização do sistema como um todo incorpora propriedades que resultam da interação dos seus subsistemas, as quais são chamadas de *propriedades emergentes*. Por exemplo, quando estão em turma, um grupo de adolescentes apresenta um comportamento distinto daquele que seus membros apresentam quando estão separados uns dos outros.

Um caso particular de emergência de propriedades, na física, se relaciona com a "Lei dos Grandes Números". Essa "Lei" afirma que, em um sistema com grande número de componentes, existe um mecanismo de compensação, que faz com que o abandono de um certo estado, por um determinado número de elementos, seja freqüentemente compensado pela passagem de uma quantidade equivalente de elementos para esse mesmo estado, de modo que, na totalidade de sistema, se manifeste uma estabilidade não notada nas partes desse sistema isoladamente. Por exemplo, em uma população biológica em um ambiente estável a freqüência de ocorrência dos genes tende a se manter constante.

Um outro mecanismo, responsável pela emergência de propriedades novas, na totalidade dos sistemas, é a retroação positiva, que faz com que o regime de funcionamento estabelecido em uma parte dos sistema se amplie, e venha a "dominar" o sistema em sua totalidade. Neste caso, as interações entre as partes do sistema são um veículo para a expansão do padrão organizacional, obtido no subsistema com retroação positiva.

O exemplo mais espetacular de propriedade emergente é a vida, que ocorre em sistemas constituídos por componentes que, considerados isoladamente, não possuem essa propriedade. A vida é uma propriedade dos sistemas celulares gerada pela interação entre seus diversos componentes (núcleo, citoplasma, membrana, etc.....). A função vida é uma composição das diversas funções desempenhadas pelas diversas partes do sistema celular.

## **5.6 - Estabilização Sistêmica**

Um dos aspectos mais importantes, para o entendimento dos sistemas vivos, é a *estabilidade* que eles apresentam, frente às perturbações externas. Por exemplo, o conceito de *saúde*, na medicina, esta estreitamente relacionado com a estabilidade do sistema vivo. A noção de estabilidade tem também um importância prática para a administração de sistemas humanos, como empresas públicas e privadas, e para o manejo e conservação de ecossistemas. Contudo, seu significado não é facilmente apreendido, sendo comum a confusão entre o conceito de estabilidade, e o conceito de equilíbrio.

De um ponto de vista físico, os dois conceitos acima se distinguem, e, em certos casos, até se opõem. Falaremos primeiramente sobre o conceito de equilíbrio, que foi desenvolvido no contexto da Teoria do Calor, a Termodinâmica. No século passado, alguns físicos e engenheiros perceberam que, apesar da validade da Lei da Conservação da Energia (que é a 1ª Lei da Termodinâmica), ao longo das transformações (por exemplo, conversão de movimento em calor, através do atrito), ocorre uma progressiva diminuição da parte da energia que podemos utilizar para realizar trabalho. Na propulsão de um trem, ocorre um aquecimento dos eixos, e esta forma de energia não é utilizável para movimentar o trem. Inicialmente, esta perda de energia utilizável foi interpretada como uma tendência exclusiva do calor no sentido da dissipação. Mais tarde foi reinterpretada, como uma direção inerente a todos os processos físicos, que rumam para um estado final no qual não ocorreriam mais transformações da energia que pudessem ser utilizadas para realizar algum tipo de trabalho.

Tomemos como exemplo um processo de mistura entre dois líquidos. Em um sistema isolado, dois líquidos miscíveis entre si vão progressivamente formando um composto homogêneo. Ao longo do processo de mistura, reações químicas entre os elementos dos dois líquidos podem liberar energia utilizável, mas após atingir o estado final de equilíbrio nada mais ocorrerá no sistema, exceto se for atingido por alguma força externa (deixando assim de ser isolado). Os físicos chamaram de "entropia" à medida da incapacidade de um sistema - no qual a quantidade total de energia se conserva - de realizar trabalho. Então, à medida em que o sistema isolado se aproxima do equilíbrio, sua entropia aumenta, e atinge o valor máximo no equilíbrio.

Esta afirmação ilustra a 2ª Lei de Termodinâmica, que afirma que em um sistema isolado a variação da entropia no tempo é sempre positiva ou nula, ou seja, a entropia nunca diminui espontaneamente. Uma consequência disso é que, se constatarmos que em um determinado sistema a entropia diminui, logo saberemos que este sistema é aberto, e está recebendo "energia útil" (ou "entropia negativa") do seu exterior. Tal consequência tem capital importância para o entendimento da física dos seres vivos. Estes sistemas apresentam, na ontogenia (processo que vai desde a embriogênese até a morte do organismo individual), momentos em que sua organização aumenta drasticamente em termos de complexidade (maior diferenciação celular, maior grau de inter-relações entre os subsistemas). Isto só é possível porque os seres vivos são sistemas abertos, que



consomem energia útil do ambiente, na forma de alimentos. Se um ser vivo for isolado logo morrerá, e seu corpo sofrerá decomposição biológica, quando seus componentes atingirão o equilíbrio físico. Deste modo, a estabilidade do ser vivo enquanto vivo, o que implica em alto grau de complexidade organizacional, só ocorre se o sistema estiver fisicamente distante do equilíbrio termodinâmico, às custas do consumo de energia útil, extraída do ambiente. Os seres autótrofos dependem da energia útil do sol, e os heterótrofos dependem da energia útil acumulada pelos autótrofos.

Podemos agora discutir mais sobre estabilidade. Estados estáveis de um sistema são aqueles os quais, uma vez obtidos, tendem a permanecer. Por exemplo, imaginemos uma caixa contendo uma bolinha, que desliza sobre uma superfície ondulada (parecida com uma superfície montanhosa). Se sacudirmos a caixa e depois a colocarmos em repouso, a bolinha provavelmente irá parar em algum dos vales da superfície, e tenderá a permanecer ali, a não ser que a caixa sofra uma nova sacudida vigorosa. Então o estado da caixa, com a bolinha em um vale relativamente profundo, é um estado *estável*. Por outro lado, se eventualmente a bolinha parar bem no topo de uma das elevações (podemos supor que a superfície da bolinha seja, por exemplo, de forma decaédrica), este estado do sistema será *instável*, pois qualquer sacudida poderá tirar a bolinha desta posição.

Com base no conceito de estabilidade acima, podemos perceber que todo estado de equilíbrio termodinâmico é estável, mas nem todo estado estável é um estado de equilíbrio termodinâmico. Tomando como exemplo ecossistemas (que estudaremos mais à frente, item 5.8), verificamos que estes tendem para um estado altamente estável, o "clímax", em que há alto grau de complexidade organizacional e máximo aproveitamento da energia. Ora, constitui erro grave conceber este estado como um estado de equilíbrio do tipo termodinâmico; no equilíbrio não há complexidade organizacional, nem atividade. O estágio clímax por sua vez é extremamente dinâmico, incluindo uma grande diversidade de processos de transformação energética. Assim, a idéia de um estado final imutável, a ser conservado intacto, é altamente criticável no contexto da ecologia.

Sistemas complexos, como os sistemas vivos, possuem mecanismos que permitem a manutenção de sua organização, através de processos compensatórios ativos. Estes mecanismos são os dos seguinte tipos:

a) *Homeostase*: manutenção de um certo nível de atividade, em determinada parte do sistema, por meio da combinação de duas retroações negativas. O exemplo clássico é o termostato. Trata-se de um mecanismo de regulação da temperatura, por exemplo, de uma casa (supõe-se que algo semelhante opere nos seres vivos que possuem autonomia térmica). Quando a temperatura do sistema atinge um limite superior, é acionado um mecanismo de resfriamento, e, quando atinge o limite inferior, é acionado um mecanismo de aquecimento. Deste modo, a temperatura do sistema sempre ficará no intervalo compreendido entre o limite inferior e limite superior;

b) *Redundância*: produção ou manutenção de certos componentes em duplicata, ou com várias repetições, permitindo que, na ausência do componente funcionalmente ativo, outros componentes, do mesmo tipo do primeiro, possam desempenhar a função anteriormente exercida por ele. Por exemplo, no DNA cromossômico existem seqüências repetidas, que podem ser acionadas, no caso de dano ao segmento inicialmente ativado;

c) *Variedade*: produção ou manutenção de componentes em qualidade mais variada que a utilizada em determinado momento, de modo a se possuir recursos extraordinários, para enfrentar situações adversas. Por exemplo, o sistema imune produz uma variedade de anticorpos mais abrangente do que a estritamente necessária para o enfrentamento dos antígenos que atingem o organismo do animal, em um determinado momento;

d) *Flexibilidade*: existência de componentes que podem realizar funções, eventualmente substituindo outros componentes ausentes. No sistema nervoso, determinados grupos de neurônios, que realizavam uma função, como por exemplo reconhecer estímulos oriundos do dedo médio da mão direita, podem ser realocados para o reconhecimento de estímulos do dedo indicador da mesma mão, no caso da perda do dedo médio.

## **5.7 - Evolução Sistêmica**

Um sistema completamente isolado atinge o equilíbrio termodinâmico, e permanece eternamente neste estado. Sistemas parcial, ou totalmente *abertos* a seus ambientes, podem ser influenciados, ou mesmo destruídos, por diversos fatores.

Chamamos de *evolução sistêmica* à sucessão de estados percorridos por um sistema qualquer - seja em direção ao equilíbrio, no caso dos sistemas isolados, ou em direção ao aumento de sua complexidade organizacional, como ocorre com os ecossistemas.

Quando um determinado sistema se encontra em um estado estável, ou ciclo de estados estáveis, e certos fatores, externos ou internos, ameaçam a manutenção desta estabilidade, chamamos de perturbações a estes fatores. Por exemplo, os vírus para um ser vivo, a colisão com meteoros de grande porte, para o sistema solar, ou a ação destrutiva do homem, para os ecossistemas, são considerados perturbações. Estas perturbações podem ser neutralizadas pelos mecanismos que mantêm a estabilidade dos sistemas, ou podem gerar (pequenas ou grandes) alterações no sistema, eventualmente o conduzindo até para estados ainda mais complexos.

Um noção importante, para se entender a evolução dos sistemas em geral, é a noção de *pontos críticos* (ou de parâmetros críticos, que são os valores das variáveis de uma equação matemática que definem um ponto crítico). Os pontos críticos, no gráfico da evolução de um sistema, são aqueles nos quais determinadas perturbações passam a influenciar seriamente sua organização, podendo conduzir a alterações bruscas. Os exemplos mais estudados de pontos críticos vêm da física, dos estudos de mudanças de fases; para ilustrar com um dos casos mais simples, lembremo-nos que a temperatura de 100°C define um ponto crítico na evolução de um sistema formado por um recipiente com água, pois a partir deste ponto começa a fervura, gerando um novo arranjo organizacional das moléculas.

As *mudanças organizacionais* de um sistema são aquelas nas quais as relações entre seus subsistemas, e/ou entre os elementos dos seus subsistemas, são rearranjadas, sem contudo serem alterados os próprios componentes, nem as relações mais elementares (chamadas de "estruturais") que eles mantêm entre si. Por exemplo, a mudança da disposição dos livros em uma biblioteca, a mudança do espaçamento adotado em uma plantação, ou a mudança de funcionários em uma empresa, são mudanças organizacionais. Já as mudanças estruturais são aquelas que alteram a composição do sistema estudado, seja por meio da alteração dos componentes, ou das relações básicas que eles mantêm entre si. Portanto, após uma mudança estrutural surge um novo sistema, com algumas de suas partes provenientes do sistema antigo, mas com a possibilidade de apresentar comportamentos bastante diferentes de sistema antigo. Por exemplo, são mudanças

estruturais a alteração das espécies plantadas em uma área, reações químicas em que surgem novos elementos, alterações gênicas que originam uma nova espécie, ou ainda quando uma empresa muda seu ramo de atividade.

Quando um sistema passa por sucessivos estágios de estabilidade e instabilidade, alterando sua organização mas não sua estrutura, chamamos a tal processo de *homeorese*. Por exemplo, diversas camadas geológicas mostram os estágios da evolução de um mesmo sistema, a terra. Do mesmo modo, na evolução política de um país, ocorre um período de estabilidade de um certo governo, e em seguida seu momento de crise, gerando um rearranjo organizacional, do qual emerge um novo governo, que também terá seu período de estabilidade e posterior crise, e assim por diante. Se eventualmente ocorrer uma revolução, que mude não só o governo como também os princípios constitucionais básicos do país (como nos casos da Revolução Francesa e da Revolução Russa), então teremos mudanças estruturais, gerando não só uma nova organização política mas também, em certo sentido, um novo país.

Nos seres vivos, se considerarmos que a estrutura básica é constituída por seus genes, durante a ontogenia não ocorrem mudanças estruturais, uma vez que não se pode alterar os genes das células (as mutações afetam poucas células, comparativamente ao número total). Deste modo, o processo de desenvolvimento embriológico, incluindo a diferenciação celular e a constituição dos diversos subsistemas especializados (ósseo, muscular, vascular, respiratório, nervoso, etc.....), indo até o crescimento e maturação do organismo, constitui um processo homeorético, no qual um mesmo sistema passa por sucessivos patamares de estabilização e desestabilização, culminando no indivíduo adulto.

Existe uma grande dificuldade em se comparar a evolução de sistemas diferentes, às vezes até de sistemas que pertencem a uma mesma classe, como é o caso de dois indivíduos de uma mesma espécie biológica. Uma maneira de se conseguir comparar sistemas diferentes, seria a formulação de um conceito comum de *complexidade*. Se tal conceito estiver disponível, poderemos comparar um organismo humano com uma ameba, e afirmar, por exemplo, que o homem seria mais complexo que a ameba (o que não implica que esteja mais adaptado, uma vez que o conceito de adaptação é relativo a cada espécie, e a cada ambiente). Quais seriam os parâmetros a serem considerados, para a

formulação deste conceito de complexidade? De acordo com a visão sistêmica apresentada acima, deveríamos levar em conta simultaneamente dois indicadores:

a) *diversidade estrutural*: inclui a quantidade de partes independentes entre si (em física esse número corresponde aproximadamente ao que é chamado de *grau de liberdade* do sistema) e também o número de tipos de partes qualitativamente diferentes entre si, que é chamado de *variedade* do sistema. Um exemplo poderá nos esclarecer sobre ambos os fatores citados acima. Tomemos um sistema constituído por cinco bolinhas que giram dentro de um globo, sendo duas delas brancas e três pretas. A cada giro do globo é extraída uma bolinha, por meio de uma janela colocada na sua base inferior, e antes do novo giro a bolinha é recolocada. O sistema é constituído basicamente pelas cinco bolinhas e o globo, então sua quantidade de partes independentes é *seis*. Já o número de tipos diferentes de elementos é *três*: o globo, bolinhas brancas e bolinhas pretas. Portanto, a diversidade estrutural de um sistema é dada pelo número e pela variedade das partes constituintes;

b) *coordenação de funções*: embora estruturalmente independentes, as partes de um sistema mantêm interações entre si, regulando reciprocamente seus níveis e tipos de atividades. Destas interações surgem as operações e funções executadas pelo sistema, que estão diretamente correlacionadas com sua complexidade (trata-se do que alguns autores chamaram de *complexidade funcional*, em complementação à complexidade estrutural, dada pela diversidade acima citada). Portanto, o grau de interação entre as partes de um sistema indica sua capacidade de coordenação de funções, e deve ser também considerada ao se aferir a complexidade do mesmo. Exemplos de complexidade funcional são abundantes nos seres vivos, bastando lembrar como funcionam o sistema respiratório, digestivo ou muscular, ou mesmo o funcionamento interno das células.

Uma das razões do estudo da evolução dos diversos tipos de sistema é o interesse humano em exercer um controle externo sobre estes sistemas. As diversas profissões técnico-científicas, como as engenharias, as medicinas, a economia e a administração de empresas, são atividades nas quais os profissionais procuram utilizar seus conhecimentos científicos para planejar, manter e dirigir sistemas, o que implicitamente supõe a capacidade humana de controlar a evolução espontânea destes sistemas, e colocá-la em

função de nossas finalidades. Deste ponto de vista, dois conceitos são utilizados, para se referir à adequação ou não dos sistemas, relativamente aos objetivos humanos:

a) o conceito de *eficácia*: diz respeito à capacidade de um sistema teleológico, de atingir determinados objetivos, independentemente do caminho utilizado para atingi-los. Por exemplo, usinas de energia atômica são eficazes para o fornecimento de eletricidade para grandes metrópoles;

b) o conceito de *eficiência*: diz respeito à relação entre o benefício produzido pelo sistema, e os gastos efetuados pelo sistema para atingir o benefício. No exemplo acima, as usinas nucleares podem ser eficazes, mas ineficientes, se o custo da energia for excessivamente alto, ou se elas trouxerem danos ecológicos vultosos.

Como uma observação final ao estudo da evolução sistêmica, devemos lembrar que os diversos tipos de sistemas podem evoluir espontaneamente para estados de maior complexidade organizacional, inclusive vindo a apresentar maior eficácia e eficiência, com relação às expectativas humanas, sem que tal processo tenha sido induzido por fatores externos. Chamamos de *auto-organização* a este tipo de processos, lembrando ainda que, para que seja possível, o sistema em questão necessita ser aberto, e consumir energia útil de seu ambiente. Exemplos de auto-organização são: o processo embriológico dos seres vivos multicelulares; a construção de um termiteiro ("cupinzeiro") por parte de uma multidão desses insetos; a dinâmica de bolsa de valores, etc...

Ao lado da existência de processos de auto-organização, existem também limites ao controle dos sistemas por parte de um agente externo. Estes limites incluem:

a) resistência dos materiais, ou dos fatores biológicos e/ou humanos, frente a novos arranjos organizacionais;

b) conflitos entre o controle externo e a direção de evolução espontânea (auto-organização) do sistema;

c) impossibilidade do agente externo reestruturar completamente o sistema; e

d) limites de conhecimento e de recursos disponíveis para o agente externo;

Notamos, neste ponto, que uma visão sistêmica possibilita não só a percepção de novas alternativas de interação com os diversos tipos de sistema que nos rodeiam (e, em certo sentido, com nós mesmos), como também possibilita a visualização dos limites do controle que podemos exercer sobre estes sistemas (inclusive, e principalmente, sobre nós mesmos).

### **5.8 O Exemplo do Ecossistema**

Uma das mais ricas ilustrações do uso da T.G.S. na área biológica é o estudo dos ecossistemas. Estes sistemas, devido à complexidade de sua constituição, e das interações que se estabelecem no seu funcionamento, só podem ser abrangidos por uma abordagem multi-disciplinar. A T.G.S. constitui o núcleo agregador de conhecimentos, que propicia uma síntese dos conhecimentos parciais a respeito dos ecossistemas, e permite o entendimento da sua dinâmica global. Deste modo, é comum encontrarmos diagramas e conceitos da T.G.S. em trabalhos de ecologia, com por exemplo no livro clássico de E. Odum, no qual baseamos nossas considerações seguintes.

Segundo Odum (1998), os ecossistemas constituem uma unidade, que abrange a comunidade biótica residente em certa área geográfica, interagindo com o ambiente físico, possibilitando que parte da energia disponível no ambiente seja absorvida por tais formas de vida, e que ocorra ciclagem de materiais entre os componentes bióticos e abióticos. No que se refere ao fluxo de energia, este é de mão única, indo do ambiente para os seres autótrofos, e destes para os heterótrofos, não podendo ser reutilizada indefinidamente; quanto ao fluxo de materiais, alguns elementos (carbono, nitrogênio, fósforo, água) são continuamente reciclados pelos seres vivos ali presentes.

A estabilidade dos ecossistemas está estreitamente relacionada com o balanço entre a produção de energia orgânica pelos autótrofos, e seu consumo pelos heterótrofos. Na dinâmica da natureza, sem a ação do homem, ocorre um retardo na utilização da energia orgânica pelos heterótrofos, gerando um acúmulo de oxigênio na atmosfera, e de combustível fóssil no subsolo. Através destes mecanismos, os seres vivos indiretamente controlam o ambiente terrestre em que vivem. Este fato propiciou a formulação da

"Hipótese Gaia", que sustenta a existência de um direcionamento global da atividade dos seres vivos, com vistas à regulação do ambiente terrestre.

Aceitando ou não a visão acima, devemos ter em conta que existem nos ecossistemas inúmeras formas de interação entre os componentes, e de controle recíproco, que, no seu conjunto, dirigem sua evolução rumo do estágio "clímax", e garantem sua estabilidade frente a perturbações. Costuma-se destacar a importância de componentes que operam com baixa energia, mas possuem alto poder de regulação sobre os outros componentes. Um exemplo citado por Odum é o dos insetos parasitas de herbívoros, que representam menos de 0,1% do metabolismo total da comunidade, e que têm grande efeito de controle da produção orgânica, por gerar a morte de herbívoros.

A estabilidade de um ecossistema depende de vários fatores, como a sua história evolutiva, os tipos de controle internos, as características de ambiente de entrada (insolação, clima, solo), e o grau de complexidade estrutural e funcional atingida. Via de regra, um crescimento excessivamente rápido dos componentes bióticos tende a ser prejudicial; portanto, os ecossistemas mais novos, por terem desenvolvido menos mecanismos de controle, são mais instáveis e suscetíveis de catástrofes biológicas.

Para entendermos como ocorre a evolução dos ecossistemas, temos que levar em conta dois conceitos fundamentais: os *fatores limitantes* e os *limites de tolerância*. Conforme a chamada "Lei de Liebig", em situação de relativo balanço de energia, o material essencial que está disponível em quantidade mínima constitui fator limitante do crescimento de um ecossistema. Fatores limitantes são, portanto, pontos de estrangulamento, que devem ser conhecidos por aqueles que pretendem trabalhar com o manejo de ecossistemas. Por exemplo, na agricultura sabe-se que a ausência de zinco, em quantidade pequena no solo, pode prejudicar culturas que possuem todos os demais fatores de crescimento disponíveis. Já os limites de tolerância são as faixas de concentração de elementos nas quais as formas de vida podem existir, como por exemplo as faixas de tolerância à luz, e à alteração de temperatura, que uma determinada planta pode suportar. Tanto a falta de luz e calor, quanto o excesso destes elementos físicos, inviabilizam a existência das plantas, o que significa que elas só podem viver dentro de determinadas faixas de variação de luz e calor. Deste modo, as formas de vida que possuem maiores



faixas de tolerância têm condições de serem mais amplamente distribuídas geograficamente.

Da combinatória entre os limites de tolerância e os fatores limitantes da cada espécie presente em um ecossistema, surge um processo dinâmico de interação e alteração organizacional, no ecossistema, que é chamado de *sucessão ecológica*. Neste interessante processo, o predomínio de certas espécies, em determinado momento, gera o ambiente propício para que outras espécies cresçam e proliferem, tomando o lugar dominante das primeiras. No caso de sucessão vegetal, observamos, em uma área desmatada de uma floresta (neste caso trata-se da chamada *sucessão secundária*, que ocorre em áreas previamente ocupadas), que inicialmente crescem as árvores que se beneficiam de uma maior insolação, e que são chamadas de "pioneiras". À sombra destas árvores crescerão outras, que se beneficiam do ambiente de sombreamento produzido pelas pioneiras. Logo aquelas crescerão acima das pioneiras, e passarão a dominar o ecossistema. Este processo continua até o estágio final, chamado de "clímax", no qual a distribuição de espécies atinge estabilidade máxima, e tende a se perpetuar, caso não ocorram perturbações de grande porte. Constitui-se, deste modo, a sucessão ecológica, em um dos mais fascinantes temas para a aplicação da T.G.S.

## CAPÍTULO 6 - CIÊNCIA E SOCIEDADE

### 6.1 . A Ciência como Atividade Superestrutural

A constituição das ciências da natureza parece, à primeira vista, basear-se apenas em uma relação entre a mente humana e a natureza: nossa mente procura *entender* leis e princípios de funcionamento da natureza, o que enseja a formação das mais amplas teorias; em um segundo momento, o conhecimento obtido é utilizado para aumentar o poder humano, através da *aplicação* particularizada do conhecimento, construindo instrumentos utilizados para transformar a natureza, e dela obter os produtos de que necessitamos.

A interferência de fatores sócio-históricos na atividade científica, conforme inúmeras vezes observamos na história das ciências, revela que as ciências da natureza na verdade se fundam sobre uma relação triádica, entre conhecimento, natureza e sociedade. As estruturas sociais, nas quais estão inseridos os produtores da ciência, exercem um influência considerável, embora nem sempre notada, sobre a maneira como é feita a ciência, e esta, por outro lado, através de sua aplicação a problemas humanos e tecnológicos, altera as condições nas quais se processa a vida social.

Uma abordagem sociológica do conhecimento só se realizou plenamente no Século XIX, quando Karl Marx propôs sua teoria da estrutura social, na qual ocupa lugar central a distinção entre "infra-estrutura" e "super-estrutura" sociais. A *Infra-Estrutura Social* é constituída pelo conjunto das atividades humanas de transformação da natureza, gerando os produtos necessários à sobrevivência dos indivíduos em sociedade, como alimentação, vestuário, moradia, etc.....O domínio da infra-estrutura é o do *trabalho produtivo*, no qual o homem realiza um esforço, físico e/ou mental, para adequar, via instrumentos de trabalho (os meios de produção), a matéria-prima, extraída da natureza bruta, às necessidades humanas. Para realizar estas atividades, os indivíduos adotam uma certa organização do trabalho, as *relações de produção*, na qual ocupam diferentes posições. Marx percebeu que aqueles indivíduos, *proprietários* dos instrumentos de trabalho, ocupam uma posição privilegiada, através da qual obtêm novos privilégios: podem repassar a outros as tarefas mais desgastantes, assumir a administração do trabalho e - o que é mais importante - podem se apropriar de uma maior fatia do produto do

trabalho coletivo. Em quase todas as formas de sociedade, existentes na história humana, ocorreu este tipo de organização do trabalho produtivo, na qual há uma desigualdade de direitos e deveres entre os indivíduos, e esta desigualdade tem seu fundamento no nível da infra-estrutura.

A *Super-Estrutura Social* consiste no conjunto das atividades culturais, como relações familiares, lazer, atividades artísticas, religiosas, e cognitivas (Ciência, Filosofia). Nestas atividades, os indivíduos aparentam se comportar de maneira livre e igualitária, mas na verdade suas atitudes são condicionadas pela posição que eles ocupam na infra-estrutura. As diversas atividades superestruturais só são possíveis a partir dos recursos produzidos em nível da infra-estrutura, o que faz com que, embora não explicitamente, as ações humanas na superestrutura reflitam a posição ocupada na infra-estrutura. Os *interesses* que orientam as ações têm sua fonte na infra-estrutura, a qual comporta as relações básicas que cada indivíduo necessita manter com a sociedade, para obter os bens necessários à sua sobrevivência.

Na sociedade capitalista, existem duas posições frente aos instrumentos de produção, que dão origem às duas classes sociais fundamentais, a “burguesia” e o “proletariado”. A burguesia é a classe proprietária dos instrumentos de produção (máquinas, terra), e o proletariado é a classe não-proprietária, que necessita vender o seu trabalho aos proprietários, para sobreviver. A atividade científica, desenrolando-se no seio de uma sociedade dotada das características acima, e situando-se no nível da sua superestrutura, não poderia ser completamente autônoma, mas sofreria a interferência contínua da organização infra-estrutural existente.

A partir da época medieval, a atividade científica veio a se concentrar em instituições dedicadas exclusivamente à pesquisa e ao ensino, as universidades, dando aos integrantes destas instituições a impressão de que suas atividades intra-muros não estariam diretamente relacionadas com a vida prática em seu exterior, mas, sim, regida por critérios endógenos de avaliação. Alguns sociólogos importantes, como Karl Mannheim, embora aceitando a tese de que as formas de conhecimento são socialmente determinadas, julgaram que a universidade seria como que uma exceção à regra geral, pois seu relativo afastamento dos conflitos e jogos de interesse da vida prática permitiria uma apreciação imparcial e conseqüentemente mais objetiva dos problemas científicos, para os quais

deveriam ser encontradas as soluções teóricas e experimentalmente mais apropriadas, independentemente das injunções derivadas dos interesses dos membros da comunidade acadêmica, enquanto cidadãos engajados em uma ou outra perspectiva política.

Por certo as influências do contexto sócio-econômico externo na atividade científica não são imediatamente identificáveis, mas temos consciência de que elas existem, começando na forma pela qual a universidade capta os recursos necessários à sua subsistência. Outra típica região de interação está na forma como a sociedade se apropria dos frutos do trabalho intelectual realizado pela universidade, a saber, como se apropria das teorias e técnicas elaboradas pelos pesquisadores, e como absorve os profissionais ali formados, no mercado de trabalho. Detendo-nos um pouco mais nesta última forma de interação, sabemos que o próprio estudante traz para a vida acadêmica uma série de posicionamentos, e de definições a respeito *do que* deve ser ensinado pelos professores, e de *como* deve ser ensinado, de acordo com a percepção que têm do seu futuro horizonte profissional, isto é, de como irá enfrentar a vida prática, inclusive no que diz respeito àquela que julga ser sua posição social de classe, e do que precisa realizar para mantê-la, ou para ascender socialmente.

Nas ciências humanas, a interferência da posição política do cientista na análise de seu objeto de estudo é mais patente, pois os princípios que estabelece para interpretação dos fenômenos condicionam, em boa parte, os resultados da análise. Porém, nas ciências da natureza não está claro em que medida os posicionamentos sócio-políticos podem interferir na opção por determinada teoria ou procedimento metodológico, em detrimento de outros. É claro que existe um favorecimento de tipo corporativista (se você tiver um aliado político em um cargo importante de um órgão de financiamento de pesquisas, provavelmente será mais beneficiado por este órgão), que não chega a ser propriamente uma determinação da infra-estrutura sobre a superestrutura. Resta a possibilidade de um tipo mais sutil de condicionamento, que é o condicionamento através da ideologia, de que trataremos a seguir.

## **6.2 - Ciência e Ideologia**

Segundo a hipótese marxista, as formas de pensar são determinadas pela posição do indivíduo na estrutura econômica. Mais que isto, existem sistemas de idéias já prontos,

as *ideologias*, que são absorvidas irrefletidamente pelos indivíduos, mesmo que não sejam efetivamente adequados aos seus interesses. As ideologias são sistemas de idéias, internamente coerentes, que contudo ocultam, ou mascaram, as condições reais em que estão os indivíduos. Por exemplo, na área da publicidade ocorre um mascaramento das imperfeições, conflitos e contradições do mundo real; os modelos e atores que fazem a propaganda de um produto apenas mostram os supostos benefícios do mesmo, e são orientados para ocultar possíveis efeitos danosos para o consumidor.

A ideologia é uma imagem mental idealizada do mundo em que o indivíduo está. Ao adotá-la, o indivíduo não se pergunta sobre a adequação entre a imagem e o mundo de relações econômicas e sociais no interior do qual ela foi gerada. No nível do conhecimento científico, trata-se de ocultar certas condições sociais que suportam e determinam o conhecimento, ou seja, evita-se questionar, por exemplo: *para que* se faz a ciência? A quem serve uma tecnologia? Em suma, a filosofia marxista propõe uma concepção "negativista" de ideologia, na qual ela seria responsável:

a) pelo mascaramento, ou ocultamento, das relações econômico-sociais que estão na base (infra-estrutura);

b) pela tentativa de evitar uma conscientização das determinações da infra-estrutura, e também de se conceber a infra-estrutura como histórica, e capaz de ser transformada;

c) pela dissimulação de interesses particulares, ou tentativa de mostrá-los como universais;

d) por um tipo de consciência que não se pergunta sobre seus próprios condicionantes, sobre as atividades de base que permitem que esta consciência venha a existir, e participam na determinação de seu conteúdo.

Em complemento a tal visão da ideologia, outros filósofos de inspiração marxista, como Adam Schaff, propuseram uma concepção mais positiva, segundo a qual a ideologia serve para *organizar a ação coletiva* dos indivíduos de um grupo para a obtenção de objetivos, de acordo com seus interesses particulares. Ao expressar os interesses do grupo,

ela permite a passagem da mera consciência para a ação, e, durante a ação, promove a coesão e direcionamento das atividades do grupo. Como exemplo, citamos a necessidade de uma ideologia para coordenar a ação dos diversos indivíduos que atuam em uma empresa ou em uma organização política.

Nessa visão, a origem da ideologia estaria na necessidade humana de se usar a linguagem para estabelecer comunicação. A ação racional supõe participarmos de uma "comunidade de significação", na qual atribuímos significados comuns às palavras, e a outros atos expressivos (gestos, sinais, etc.....). Só podemos comunicar ao outro o que nosso sistema comum permite. Há necessidade de trazer para o mundo da linguagem tudo o que possa ser comunicado, mas a preservação de certos interesses, de grupos ou classes, faz com que determinados fatos não sejam retratados fielmente, para que os indivíduos não possam deles tomar consciência. A ideologia é um modo deformado de codificação da realidade, elicitada por grupo ou classe que deseja se emancipar, se promover ou se organizar com vistas a um objetivo. Esse grupo ou classe precisa codificar sua ação em uma ideologia, através da qual põe em evidência um programa de ação e, ao mesmo tempo, oculta os aspectos de realidade que lhe são desfavoráveis. Exemplos: a "ideologia do choque econômico", o nacionalismo, o ecologismo, e outros "ismos".

### **6.3 A Estrutura da Sociedade Tecnológica**

O homem tem uma relação *técnica* com a natureza sempre que se utiliza de instrumentos para transformá-la, com vistas à obtenção de um produto. Os instrumentos permitem uma extensão dos poderes do organismo humano. O material é transformado pela operação do instrumento, gerando um produto que é apropriado e consumido pelo homem.

Na história, encontramos desde os instrumentos naturais (mãos, dentes, etc.....), e os artificiais mais rudimentares (roda e faca de pedra), até os produtos da tecnologia moderna. A relação técnica primária é a do artesão, que cria seus próprios instrumentos de trabalho, e executa todas as fases da produção de um bem. A tecnologia está em um estágio avançado da relação técnica, no qual foram aplicados *conhecimentos científicos* ao desenvolvimento dos instrumentos de transformação, ampliando enormemente o seu poder. A evolução tecnológica não é fruto apenas da prática, ou seja, não é o mero

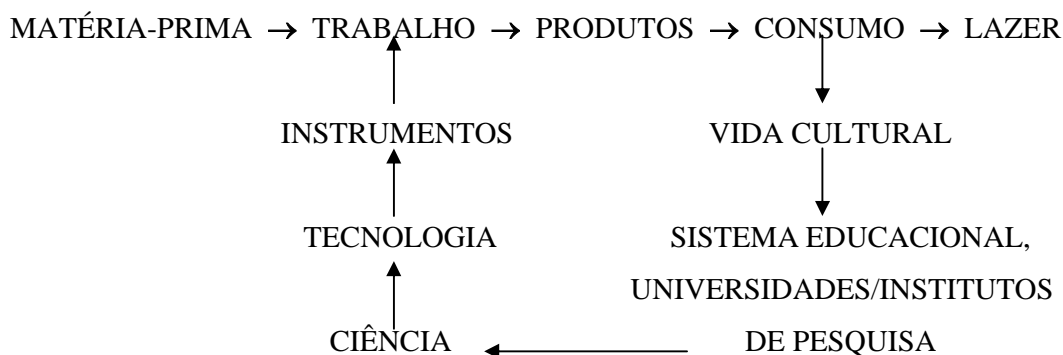
resultado do auto-aperfeiçoamento do trabalho dos artesões e técnicos, mas dependeu, e depende, essencialmente, da injeção de conhecimentos científicos, produzidos por indivíduos e grupos que, muitas vezes, não se dedicam (e não teriam tempo de se dedicar) ao uso dos instrumentos, no trabalho de transformação da natureza.

O refinamento da tecnologia existente, sua extensão para novas áreas de aplicação, e a criação de novas tecnologias, são atualmente tarefas de grupos bem organizados e bem financiados, nos quais as interações interdisciplinares desempenham um importante papel. Por exemplo: na criação da tecnologia computacional, participaram filósofos (lógicos), lingüistas, engenheiros elétricos, biólogos e matemáticos.

A utilização dos resultados do trabalho científico, pela sociedade, se faz principalmente através de seus aplicações tecnológicas, vindo a afetar o modo de vida do conjunto da população. Na vida prática, o senso comum termina por absorver artefatos tecnológicos, cuja fabricação só se tornou possível a partir de teorias altamente complexas, que este senso comum ignora completamente. A produção tecnológica pressupõe um elevado nível de conhecimento científico, mas o uso dos produtos tecnológicos nem sempre requer o domínio deste conhecimento por parte do usuário.

A sociedade do final do século XX foi caracterizada como *sociedade tecnológica*, devido ao alto grau de utilização dos artefatos tecnológicos, não só em nível da produção econômica, mas também nas atividades culturais e no lazer. A aplicação da ciência e da tecnologia à indústria foi, sem dúvida, o motor propulsor de um processo de acumulação de riquezas sem precedentes na história humana, que caracterizou a humanidade no século XX.

A forma de funcionamento desta sociedade pode ser caracterizada através do seguinte esquema:



O aspecto mais importante do esquema acima é o fato, por ele expressado, de que existe uma interação e realimentação entre, por um lado, o trabalho produtivo, e, de outro, a atividade científica. A produção do conhecimento científico sofisticado, e da alta tecnologia, só se tornou possível devido à existência de uma infra-estrutura social, onde são produzidos os bens, cujo consumo sustenta as atividades da superestrutura, onde se localizam as atividades científicas e tecnológicas. Através da aplicação da tecnologia aos meios de produção, estas atividades mudam a qualidade do trabalho produtivo, gerando não só aumento de produtividade e diminuição de custos, como também criação de novos produtos, que irão modificar o modo de vida da massa da população, inclusive em nível do lazer.

Podemos então perceber que, neste tipo de sociedade, a "teoria" e a "prática", embora tenham diferentes locais de elaboração e execução, não podem ficar completamente dissociadas. Uma dos aspectos da vinculação do teórico e do prático é que a relação entre ciência e tecnologia não ocorre apenas no sentido da incorporação dos resultados científicos pela tecnologia; a própria atividade científica seria profundamente influenciada pela atividade tecnológica, no estabelecimento dos temas e problemas a serem trabalhados - os quais atualmente são sugeridos, em grande parte, por lacunas na tecnologia - e também na forma em que é feita a pesquisa e a transmissão da ciência.

Existem diversos tipos de atividade tecnológica. A *pesquisa tecnológica*, que cuida da resolução de problemas existentes, e das inovações a serem introduzidas, e está em constante interação com o estado de conhecimento em cada área científica envolvida na tecnologia específica; o *planejamento tecnológico*, que cuida da aplicação de uma determinada tecnologia a um determinado tipo de problema prático; e ainda as atividades



de *execução* do projeto e *manutenção* do parque tecnológico. Nestas últimas atividades concentra-se a procura de profissionais, em um mercado de trabalho no qual a qualificação tecnológica é um requisito indispensável.

Uma avaliação filosófica da sociedade tecnológica tem sido feita por filósofos marxistas e existencialistas, e pelo movimento ecológico. De um ponto de vista marxista, a corrida tecnológica sem fim serve aos interesses da classe dominante, pois a implementação das inovações está sob seu controle, e pode ser utilizada para restringir o espaço de atuação dos trabalhadores, que não dominam o "know-how" tecnológico, os métodos e processos utilizados na produção dos bens e na administração da sociedade. Quando os trabalhadores conseguem dominar uma certa tecnologia, esta já foi tornada obsoleta, cedendo lugar a uma outra, mais eficaz e lucrativa. O desenvolvimento dos instrumentos de produção não eliminaria as relações de produção desiguais, mas, pelo contrário, serviria para reproduzir a desigualdade ou mesmo aprofundá-la.

Para os existencialistas, a atenção dispensada aos meios de produção obscurece o sentido da existência humana, que está ligado aos fins. Na sociedade tecnológica, o "como fazer" se torna mais importante que "o que fazer"; a busca de uma eficácia sempre maior levada ao extremo geraria um estado de tensão que destrói a possibilidade de uma vida satisfatória e desvia a atenção das questões humanas fundamentais, com a relação como a natureza, com os outros e com a memória cultural.

De um ponto de vista ecológico, o progressivo aumento do poder do homem sobre a natureza pode ser uma faca de dois gumes, pois torna possível a destruição de condições ambientais não renováveis que dão suporte à biosfera e à própria vida humana. Além do problema do "bom uso" e do "mau uso" do poder conferido pela tecnologia em relação aos fins humanos, coloca-se a questão da avaliação das conseqüências ambientais que a utilização dos modernos mecanismos industriais acarretam. Este é um problema "objetivo", que deve ser tratado cientificamente, deixando-se de lado os sentimentos puramente preservacionistas. A dificuldade está na complexidade do objeto de estudo da ciência ecológica, o ecossistema. Defronte à dificuldade de testes das hipóteses sobre causas e efeitos das alterações nos ecossistemas, muitas vezes as propostas de ação são carregadas de posicionamentos ideológicos apresentados como sendo científicos.

O filósofo Adam Schaff identifica na atualidade três revoluções científico-tecnológicas em curso: a da microeletrônica, a da microbiologia e a da energia nuclear. Em seu conjunto, as três revoluções podem alterar radicalmente o modo de produção econômico, fazendo com que seja necessária uma quantidade cada vez menor de trabalho, para a manutenção, ou mesmo ampliação, do nível de produção. Esta mudança teria como consequência a liberação do ser humano para outros tipos de ocupação do tempo, que não o trabalho (tal como é tradicionalmente concebido, envolvendo esforço físico e mental).

Contudo, esta ainda não é a realidade a ser enfrentada pelas gerações que estão ingressando agora, e nos próximos anos, no sistema produtivo; elas enfrentarão o desafio de um trabalho ainda árduo, e que deve ser tecnologicamente qualificado, em um regime de muita competição. Estamos em uma fase de transição, na qual as novas tecnologias estão sendo implantadas em um estrutura econômica antiga, exigindo grande esforço de adaptação e criatividade. Para realizar tais tarefas, o profissional necessita dominar não só os procedimentos técnicos adequados, como também, muitas vezes, os princípios teóricos, que estão por trás das "receitas" tecnológicas, pois apenas a partir destes princípios, ele terá condições de avaliar os problemas concretos, e determinar como uma tecnologia se aplica (ou não) a ele.

#### **6.4 Ética da Pesquisa Científica**

Questões éticas não se colocam apenas frente à utilização dos resultados da ciência. Também na produção destes resultados, supomos que a ciência tenha certos objetivos. As distorções que a impedem de atingir estes objetivos lhe são prejudiciais, e devem ser valorados negativamente, em relação aos fins propostos.

Os fins de ciência parecem ser, basicamente, ampliar o conhecimento humano, e melhorar a vida humana. O meio para se atingir esses fins é o da *resolução de problemas*. Os grandes desafios à ampliação do conhecimento humano se colocam na forma de *problemas teóricos*, a serem solucionados através de descrição de uma realidade até então desconhecida, ou da explicação dos aspectos desconhecidos por meio de aspectos conhecidos. Já a solução dos *problemas práticos*, que afetam a vida humana, se faz por meio de aplicação do conhecimento teórico, para a invenção dos instrumentos técnicos, ou tecnológicos, que sejam eficazes para a transformação de realidade na direção desejada,

com dois tipos de benefícios: desenvolvimento de novos artefatos para indústrias, e contribuições diretas para a qualidade de vida (p.ex., cura de doenças).

Se a caracterização dos objetivos acima estiver correta, toda pesquisa científica deve ser realizada em função de problemas teóricos ou práticos. Qualquer pesquisa que não se realize para a solução de problemas, ou em cujo desenrolar ocorram distorções que a impeçam de solucioná-los, deve ser criticada do ponto de vista ético, mesmo que aparente ser altamente produtiva, do ponto de vista quantitativo (isto é, mesmo que se apresente um grande volume de atividades, relatórios e publicações científicas).

Chamamos de *pesquisas burocráticas* às pesquisas que, apesar de apresentarem diversos cuidados quanto à metodologia utilizada (por exemplo, a utilização de sofisticados tratamentos matemáticos), não se direcionam para as finalidades próprias da ciência. Evidentemente essas pesquisas cumprem outras funções, como a promoção das carreiras individuais, ou (aparente) legitimação dos financiamentos concedidos a grupos institucionais organizados. A existência de pesquisas burocráticas revela que não podemos avaliar a qualidade de produção científica de um ponto de vista puramente metodológico, sugerindo que a definição dos valores éticos da ciência interfere com a própria definição da metodologia a ser utilizada.

A preocupação com uma ética de pesquisa científica adquire importância na atualidade, pois já podemos constatar, em nível mundial, que, a partir de um determinado momento, o aumento do financiamento da ciência, e o correspondente aumento do número de pesquisas e de publicações científicas, não tem trazido um aumento proporcional nas contribuições ao conhecimento teórico, ou à resolução de problemas práticos. Um considerável número de publicações científicas têm se revelado redundante, desprovidas de maior interesse teórico ou prático, refletindo a existência de inúmeras pesquisas de natureza burocrática.

A eficácia da ciência, ou seja, sua capacidade de solucionar problemas reais, é assegurada pelo uso correto da metodologia científica, com a conseqüente definição do problema a ser enfrentado sendo feita logo no início do processo de pesquisa. Desse modo, a hipótese a ser levantada deve ser capaz de, caso confirmada, constituir verdadeira solução para o problema; e o teste de hipótese, sendo feito *após* a formulação de hipótese,

é planejado de modo a verificar o desempenho da mesma, através de suas conseqüências. Desse modo, qualquer inversão indevida na ordem do processo de pesquisa poderá prejudicar gravemente, senão anular, sua eficácia. Se a formulação da hipótese for feita após a obtenção de resultados, tal hipótese será com certeza uma hipótese confirmada pelos resultados previamente obtidos, desse modo eliminando o risco concernente aos testes de hipóteses, a saber, o risco de que a hipótese seja desconfirmada. Porém, com tal inversão da ordem da pesquisa, o problema a ser resolvido por tal hipótese também será definido após a formulação dessa hipótese, ou sequer chegará a ser definido. Logo, se não houver uma feliz coincidência, com toda certeza a hipótese não será a solução de nenhum problema real, e tal pesquisa, embora aparentemente bem sucedida, estará desvinculada do objetivo da ciência.

A inversão da ordem lógica de pesquisa, ou a adulteração de algum de seus passos, certamente implicará em distorções, que afetarão a eficácia da ciência. Infelizmente, são inúmeras as possibilidades de adulteração do método científico, variando em graus que vão de um simples e comum "favorecimento" das condições experimentais, para se obterem os resultados previstos pela hipótese, até os casos de inequívoca fraude científica, onde pontificam especialmente a falsificação de resultados experimentais. A médio e longo prazo, as fraudes são menos prejudiciais para a ciência do que os pequenos "favorecimentos", porque aquelas são mais facilmente detectadas e desmascaradas, enquanto as pequenas distorções vão minando gradualmente os programas de pesquisa, que ainda consumirão consideráveis esforços humanos e verbas de pesquisa antes de se estagnarem por completo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALVES, R. Filosofia da Ciência. São Paulo, Brasiliense, 1985.
- ARISTÓTELES The Works of Aristotle. W.D.Ross, Oxford, Clarendon, 1930.
- ATLAN, H. Entre le Cristal et la Fumeé, Paris. Ed. Du Seuil, 1979.
- AYALA, F. & DOBZHANSKY, T. (Eds) Estudios sobre la Filosofia de la Biología, Barcelona, Ariel, 1983.
- BECKNER, M. The Biological Way of Thought, New York, Columbia Univ. Press, 1959.
- BERTALLANFY, L. Teoria Geral dos Sistemas, Petrópolis, Ed. Vozes, 1973.
- BIRDI, K.S. Fractals in Chemistry, Geochemistry and Biophysics, New York, Plenum Press, 1993.
- BREHIER, E. História da Filosofia, 7 vols, São Paulo, Mestre Jou, 1978.
- BUNGE, M. La Investigación Científica, Barcelona, Editora Ariel, 2º Edição, 1985.
- BUNGE, M. Teoria e Realidade, São Paulo, Perspectiva, 1974.
- CARNAP, R. O Caráter Metodológico dos Conceitos Teóricos, em Col. Os Pensadores, São Paulo, Abril, 1980.
- CERVO, A. & BERVIAN, P. Metodologia Científica, São Paulo, McGraw-Hill, 1973.
- CHALMERS, A. A Fabricação da Ciência, São Paulo, Ed. UNESP, 1994.
- CHIAVENATTO, I. Teoria Geral da Administração, Vol. 2, São Paulo, McGraw-Hill, 2º Edição, 1979.
- COCHRAN, W. and COX, G. Experimental Designs, New York, J.Wiley, 1975.
- DAWKINS, R. O Gene Egoísta, São Paulo, Itatiaia/EDUSP, 1979.
- DEPEW, D. and WEBER, B. Evolution at a Crossroads. Cambridge, MIT Press, 1985.
- DESCARTES, R. Discurso do Método e Meditações, em Col. Os Pensadores, São Paulo, Abril, 1979.
- GARCIA, F.L. Introdução Crítica ao Conhecimento, Campinas, Ed. Papirus, 1988.
- GARDNER, E. History of Biology, Minneapolis, Burgess Publ. Company, 1972.
- GARDNER, M. Manias e Crendices em Nome da Ciência. São Paulo, Ibrasa, 1960.
- GLYMOUR, C. Theory and Evidence, Princeton, Princeton Univ. Press, 1980.
- GRANGER, G.C. A Ciência e as Ciências, São Paulo, Ed. UNESP, 1994.
- GREENE, M & MENDELSSOHN, E. Topics in the Philosophy of Biology, Dordrecht/Boston, D. Reidel. 1976.
- HEGEMBERG, L Lógica Simbólica, São Paulo, Herder, 1966.
- HEGEMBERG, L. Etapas da Investigação Científica, (2 vols), São Paulo, EPU, 1976.

- HEGEMBERG, L. Explicações Científicas, São Paulo, Herder/EDUSP, 1969.
- HEMPEL, C. Aspects of Scientific Explanation, New York, The Free Press, 1965.
- HUHNE, L. (Org.) Metodologia Científica, Rio de Janeiro, AGIR, 1987.
- HULL, D. Filosofia da Ciência Biológica, Rio de Janeiro, Zahar, 1971.
- HUME, D. Investigação sobre o Entendimento Humano. Col. Os Pensadores, São Paulo, Abril, 1973.
- JACOB, F. A Lógica da Vida. Rio de Janeiro, Graal, 1983.
- JAPIASSU, H. O Mito da Neutralidade Científica. Rio de Janeiro, Imago, 1978.
- KANT, E. Crítica da Razão Pura. em Col. Os Pensadores, São Paulo, Abril, 1983.
- KAUFFMAN, S. The Origins of Order, New York, Oxford University Press, 1993.
- KUHN, T. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo, Perspectiva, 1973.
- LE MOIGNE, J.L. La Theorie du Système Général, Paris, Presses Universitaires de France, 3ª Edição, 1990.
- LOSEE, J. Introdução Histórica à Filosofia da Ciência. São Paulo, Itatiaia/EDUSP, 1979.
- LUNGARZO, C. O que é Ciência, São Paulo, Ed. Brasiliense, 1989.
- MANNHEIM, K. e outros. Sociologia do Conhecimento. Rio de Janeiro, Zahar, 1967.
- MATES, B. Lógica Elementar. São Paulo, Cia Editora Nacional, 1968.
- MONOD, J. O Acaso e a Necessidade, Petrópolis, Ed. Vozes, 3ª Edição, 1972.
- MORAIS, R. Filosofia da Ciência e da Tecnologia. Campinas, Papirus, 1988.
- MORGENBESSER, S. (Org.). Filosofia da Ciência. São Paulo, Cultrix, 1967.
- MORIN, E. La Méthode, Vol. 1: La Nature de la Nature, Paris, Ed. Du Seuil, 1977.
- NAGEL, E. The Structure of Science. New York, Harcourt, 1961.
- NICOLIS, G. and PRIGOGINE, I. Exploring Complexity, Berlin, Springer-Verlag, 1989.
- ODUM, E. Ecologia, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1988.
- OLIVER, D. and HOVISS, D. Fractal Graphics for Windows, Indianapolis, SAMS, 1984.
- POPPER, K. A Lógica da Pesquisa Científica. São Paulo. Cultrix. 1975.
- Três Concepções Acerca do Conhecimento Humano. Em Col. Os Pensadores, São Paulo, Abril, 1980.
- PRIGOGINE, I. e STENGERS, I. A Nova Aliança. Brasília, UNB, 1979.
- PRODI, G. O Indivíduo e Sua Marca, São Paulo, Ed. UNESP, 1983.
- RENSCH, B. Biophilosophy. New York/London, Columbia Univ. Press. 1971.
- ROLLER, D. Introdução à História das Ciências. São Paulo, Cultrix, 1966.
- RUELLE, D. Acaso e Caos, São Paulo, Ed. UNESP, 1993.
- RUSE, M. La Filosofia da la Biologia. Madrid, Alianza, 1979.

- RUSSELL, Bertrand A Perspectiva Científica, São Paulo, Companhia Editora Nacional, 3<sup>o</sup> Edição, 1969.
- SALMON, W.C. Lógica. Rio de Janeiro, Zahar, 1969.
- SATTLER, R. Biophilosophy, Analytic and Holistic Perspectives. Berlin/New York, Springer-Verlag, 1986.
- SCHAFF, A. A Sociedade Informática. São Paulo, Ed. UNESP, 1990.
- História e Verdade. Lisboa, Estampa. 1974.
- SCHWAB, J. (Org.). Convites ao Raciocínio. Série Biological Sciences Curriculum Study, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências, 2a. Edição, 1972.
- SOBER, E. (org.) Conceptual Issues in Evolutionary Biology, Cambridge, Bradford/MIT Press, 1984.
- SOBER, E. Philosophy of Biology, Oxford, Oxford University Press, 1993.
- THÉODORIDES, J. História da Biologia, Lisboa. Edições 70, s/d.
- UEXHULL, J. Dos Animais e dos Homens. Lisboa, Enciclopédia LBL, s/d.
- VAN FRAASSEN, B. The Scientific Image. Oxford Univ. Press. 1980.
- VARGAS, M. Metodologia da Pesquisa Tecnológica. Rio de Janeiro, Globo, 1985.
- VITA, L.W. Introdução à Filosofia. São Paulo, Melhoramentos, 1964.
- WADDINGTON, C. Instrumental para o Pensamento. São Paulo, Itatiaia/EDUSP, 1979.
- WIENER, N. e outros. O Conceito de Informação na Ciência Contemporânea. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1970.
- WIESER, W. Organismos, Estruturas, Máquinas. São Paulo, Cultrix, 1972;
- WITKOWSKI, N. (Org.). Ciência e Tecnologia Hoje, S. Paulo, Ed. Ensaio, 1994.