

João Bosco da Mota Alves

T E O R I A
G E R A L
~~DE~~
S I S T E M A S



Em busca da interdisciplinaridade



Instituto **Stela**

Todo sistema é uma construção mental

Quando se divide um espaço em dois, nasce um universo: define-se uma unidade. A descrição, a invenção e a manipulação de unidades estão na base de toda indagação científica.

A frase de Maturana e Varela descreve com precisão o conceito de sistema, tão fundamental para a compreensão do mundo pela espécie humana. Quando identifica um cachorro em algum espaço, você o separa do restante deste espaço, isto é, de seu ambiente. Sabe o que pertence ao cachorro e o que pertence ao ambiente.

De fato está dividindo tal espaço em dois, fazendo nascer em sua mente um universo, uma unidade, um sistema, o cachorro. No entanto, isso só acontece devido a sua existência enquanto observador, que constrói na mente consciente tal divisão, estabelecendo a fronteira que separa o sistema de seu ambiente. Portanto, todo sistema é uma construção mental.

O conceito de sistema é tão importante que ultrapassa a fronteira da ciência, alcançando áreas tão diversas quanto religião (estabelecimento de dogmas), imaginário infantil (dinâmica e "vida" a seus super-heróis), ou qualquer ação do dia-a-dia das pessoas, seja uma dona-de-casa (modificando o ambiente - lar e refeição - para sua família), um executivo de empresa (metas a serem alcançadas em busca da sonhada solidificação empresarial), etc.

JOÃO BOSCO DA MOTA ALVES

TEORIA GERAL DE SISTEMAS

EM BUSCA DA INTERDISCIPLINARIDADE

ILUSTRAÇÃO

RAFAEL MARTINS ALVES

Instituto Stela

Florianópolis

2012

© 2012 João Bosco da Mota Alves

Ilustrações e capa: Rafael Martins Alves

Diagramação: Antonio Neves Filho

Contato: jbosco@egc.ufsc.br

Catálogo na fonte elaborada por Karyn Munyk Lehmkuhl,
bibliotecária, CRB14/906.

A474t Alves, João Bosco da Mota
Teoria geral de sistemas: em busca da
interdisciplinaridade / João Bosco da Mota
Alves, ilustração Rafael Martins Alves. -
Florianópolis: Instituto Stela, 2012.
179 p.: il.; 21 cm.

ISBN 978-85-99406-38-0.

1. Teoria geral de sistemas. 2. Sistemas.
3. Interdisciplinaridade. I. Alves, Rafael
Martins. II. Título.

CDU: 65.012.12

A quem encantou e encanta minha vida:

Mario e Nazaré, pais (in memoriam)

Nilza, Adilson, Mario Filho, Aldemir (in memoriam),
Carmo, Graça, Djair e José Fernandes,
irmãos

Bernardete, companheira, **Juliana e Rafael**, filhos, **Vinícius e Vítor**, netos

PREFÁCIO

Nos últimos anos tive o privilégio de participar da criação de dois cursos na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. O primeiro, de graduação, Sistemas de Informação - SIN (em 1999), vinculado ao Departamento de Informática e de Estatística - INE; e o segundo, de pós-graduação (mestrado e doutorado), Engenharia e Gestão do Conhecimento - EGC (em 2004), interdisciplinar, vinculado ao Departamento de Engenharia do Conhecimento.

Para além desse privilégio, estava o prazer da convivência e do aprendizado obtidos junto aos estudantes, docentes e servidores técnico-administrativos dos dois cursos. Em 2008, me aposentei da UFSC, o que me forçou a parar de ministrar aulas no INE (SIN), ficando apenas com as atividades do EGC. Em ambos ministrei Teoria Geral de Sistemas - TGS (sozinho no SIN e junto com o Prof. Vinicius Kern, no EGC). A riqueza maior desse aprendizado refletiu-se numa melhor compreensão do caráter interdisciplinar da ciência, em geral, e da TGS, em particular, que resultou no projeto deste livro.

O grande desafio encontrado, a princípio, pode ser resumido da seguinte forma: *como deveria ser apresentada a TGS aos estudantes neste início de século XXI, já que a primeira e, ainda, a maior referência é o livro homônimo de seu criador, Bertalanffy, escrito na metade do século passado e, portanto, antes da grande explosão científico-tecnológica dos últimos cinquenta anos?* Para mim, ficou evidente a oportunidade de destacar a contemporaneidade das ideias do mestre; e não poderia deixar escapá-la. Então, este livro é o resultado da experiência adquirida em debates em classe ao longo desses doze anos, o qual submeto agora à apreciação de um público maior, na esperança de obter um retorno crítico que contribua mais ainda para a consolidação dos princípios que norteiam a interdisciplinaridade da ciência.

No primeiro capítulo é ilustrado o fato de que todo ser humano, dotado pela evolução de uma mente consciente, possui uma

visão de mundo própria, individual e única, que depende, dentre outras coisas, de sua ontogenia, de sua história de vida. E, como vive em sociedade, não é difícil constatar-se a emergência de uma visão de mundo coletiva, que identifica seu grupo social. Essa visão recebe, aqui, a denominação de paradigma. No segundo capítulo é apresentada, resumidamente, a evolução da visão de mundo coletiva, que jamais se dissociou de crenças e mitos, mesmo com o advento da ciência moderna e do resultante enorme conhecimento sobre o universo.

O terceiro capítulo trata da necessidade do conceito de sistema para compreensão do mundo em que vivemos, de como é concebido, e de sua relação com o ambiente ao qual está inserido. Uma vez discutido o conceito de sistema, suas principais características são tratadas no quarto capítulo, onde algumas inovações foram introduzidas, fruto de deduções decorrentes de trabalhos de grandes mestres, como Maturana e Varela, e Ernst Mayr (acoplamento estrutural e o fenômeno da adaptação).

O quinto capítulo trata da monitoração e controle de sistemas, de um modo geral, e alguns conceitos fundamentais como estado de um sistema e sua estabilidade. O sexto capítulo trata dos objetivos da TGS, a partir do alerta de Bertalanffy. E, para finalizar, no capítulo sete, a relação entre TGS e interdisciplinaridade, principalmente depois do reforço da CAPES na luta pela disseminação de estudos interdisciplinares, bem como alguns desafios que se colocam para dar conta de problemas crescentemente complexos.

Procurei sempre usar uma linguagem adequada a pessoas com segundo grau completo e com formação em qualquer área do conhecimento que pretenda ampliar sua base de conhecimento, e/ou dedicar-se a estudos interdisciplinares. Para isso contei com a valiosa contribuição de meu amigo e mestre, Prof. Dr. Nilson Lemos Lage, pela revisão de conteúdo e correções fundamentais, ao qual agradeço pela paciência, interesse e estímulo. Um agradecimento especial à Profa. MSc. Maria das Graças Alves Salim, pela revisão do texto; à bibliotecária MSc. Maria Bernardete Martins Alves, pelo trabalho de

normatização; ao designer MSc. Rafael Martins Alves, pelas ilustrações; aos estudantes, docentes e servidores técnico-administrativos dos cursos SIN e EGC, da UFSC; e ao Prof. Dr. Vinicius Kern, cujas discussões permitiram ampliar ainda mais minha visão interdisciplinar da ciência.

Florianópolis, dezembro de 2012.

SUMÁRIO

1	CONSTRUÇÃO DA VISÃO DE MUNDO	13
1.1	Observador e Observado	15
1.2	Visões de Mundo	23
1.3	Alegoria da Caverna	30
1.4	Instintivo, Inato, Genético	32
1.5	E Viva a Mente	35
1.6	Visão de Mundo: Construção Mental	37
1.7	Não é fotografia	42
1.8	Abstração, Inferência	46
1.9	Composição Mental de Movimento	52
2	EVOLUÇÃO DA VISÃO DE MUNDO	57
2.1	Edifício Pré-Científico	59
2.2	Construção da Ciência Moderna	68
2.3	Interdisciplinaridade na Ciência	81
2.4	Explosão Científico-Tecnológica	89
2.5	Existência Simultânea de Múltiplos Paradigmas ...	94
3	CONCEPÇÃO DE SISTEMAS	95
3.1	Definição de Sistema	95
3.2	Comunicação Observador-Observador	98
3.3	Representação Hierárquica de Sistema	100
3.4	Emergência e Teleologia	103
3.5	Organização como Sistema	106
4	CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS	109
4.1	Sistema, Fronteira, Ambiente e Observador	109
4.2	Estruturas do Sistema e do Ambiente	112
4.3	Acoplamento Estrutural	116
4.4	O Fenômeno da Adaptação	122
4.5	Modos de Geração de Novos Sistemas	124
4.6	Classificação de Sistemas	129

5	MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS	131
5.1	Estado de um Sistema	132
5.2	Diagrama de Estado	135
5.3	Estabilidade de Estados de Sistemas	142
5.4	Processo: Sequência de Estados	148
5.5	Processo em Controle de Sistemas	150
5.6	Tomada de Decisão e Efeitos de 2ª Ordem	151
6	OBJETO DA TEORIA GERAL DE SISTEMAS	155
6.1	O Alerta de Bertalanffy	155
6.2	E Bertalanffy criou a Teoria Geral de Sistemas ...	156
6.3	Objetivos da Teoria Geral de Sistema	160
7	TEORIA GERAL DE SISTEMAS E	
	INTERDISCIPLINARIDADE	
	163	
7.1	A Emergência da Interdisciplinaridade	163
7.2	Desafios docentes para a Interdisciplinaridade	165
7.3	Desafios Institucionais para a	
	Interdisciplinaridade	169
	REFERÊNCIAS	173

1 CONSTRUÇÃO DA VISÃO DE MUNDO

Fios de cabelo na cabeça humana - 160 a 170 mil
Estrelas na Via Láctea - 200 a 500 bilhões
Galáxias no Universo - 1500 a 2500 bilhões
Células no corpo humano - 50.000 bilhões
Estrelas no Universo - mais de 100 trilhões de bilhões

Prof. Renato Las Casas (2010)

No momento em que você lê este livro, está sendo bombardeado por incrível quantidade de dados - sinais captados por seu sistema sensorial. A quantidade é tão grande que a maioria será ignorada e apenas pequena parte processada em sua mente. Em geral, a parte considerada para processamento terá relação com seu interesse imediato, fará parte do arsenal de mecanismos que reforçam seu instinto de sobrevivência.

Sua **audição** pode estar captando vários sons (barulho de carros, televisão ligada, conversa entre pessoas, crianças chorando ou brincando, etc.), mas a maioria será ignorada por você, quando se concentra em uma pergunta que lhe está sendo feita. Da mesma forma ocorre com os demais sentidos, durante a leitura: **visão** (um inseto pode sobrevoar a página do livro; ou mesmo um clarão oriundo de uma descarga atmosférica distante iluminar o ambiente), **tato** (a sensação não intensa de frio ou calor, a picada de um mosquito, uma brisa soprando, ou ainda alguém lhe dando tapinha nas costas para chamar sua atenção), **olfato** (o café que está sendo feito, o perfume de alguém que passou por perto, produtos de limpeza que a faxineira está usando), **paladar** (um sanduiche reforçado poderá ter sabores diversos, alguns agradáveis e outros nem tanto: se não lhe parecerem ameaçadores e a fome for realmente grande, você nem ligará). Há indícios de que nosso sistema sensorial é capaz de captar cerca de 100 sinais ao mesmo tempo; provavelmente, menos de 10% serão processado pela mente e chegarão ao nível da consciência; menos ainda permanecerá na

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

memória por mais do que alguns segundos ou minutos. Este aparato de sensoriamento está à sua disposição para ajudá-lo a adaptar-se ao ambiente no qual se encontra. Capazes de captar possíveis mudanças na estrutura do ambiente as quais, dependendo de seu julgamento, podem desencadear ações, atitudes, que precedem tomadas de decisão na busca constante de adaptação à nova estrutura deste seu ambiente.



Fig. 1. 1: Contemplação do céu noturno.

A estrutura sensorial dota o ser humano de capacidade de observação do mundo (imediato ou não) em que vive. A mente consciente realiza reflexões sobre o mundo observado levando à **construção de uma visão de mundo** de seu proprietário. Tal visão de mundo é sempre atualizada, pois a estrutura sensorial não para de captar sinais e a mente também de fazer reflexões sobre os novos dados, ratificando ou retificando a visão de mundo anterior, atualizando-a.

A contemplação do céu noturno, Fig. 1-1, sempre fascinou o ser humano, maravilhado pelo belo e grandioso espetáculo. No entanto, jamais conseguiu e, certamente, jamais poderá descobrir o número exato de estrelas e galáxias no universo. Ainda assim e pela **observação**, seguida de reflexão, é claro, pode se estimar esse

número. Os dados do Prof. Renato Las Casas (2010), do Observatório Astronômico Frei Rosário, da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, contendo estimativas de quantidades desses astros, impressionam por mostrar o tamanho insignificante do ser humano diante de um universo exuberante. Apenas em nossa galáxia, a Via Láctea, existem centenas de bilhões de estrelas. E ela é uma em mais de um trilhão de galáxias do Universo conhecido. Então, **vivas à nossa capacidade de observação.**

Em uma palestra na década de 1980, na Universidade Federal do Pará, Paulo Freire (um dos maiores educadores de todos os tempos), deixou encantada a plateia (como sempre) com seus ensinamentos. Mais ainda a mim, pelo privilégio de tê-lo assistido pessoalmente, mesmo sendo esta a única vez. Nela, o mestre mostrou ser absolutamente necessário ter-se conhecimento do ambiente (não apenas físico, mas político, econômico, etc.) em que se vive. Para tal, urge que se tenha uma visão panorâmica do ambiente, isto é, explorar a capacidade de abstração para tornar-se um observador "externo" do par sistema(ser humano)-ambiente. Uma vez que se tenha esta visão de mundo atualizada com a abstração, todas as intervenções, daí advindas, serão extremamente mais conscientes. Mesmo sem ter falado explicitamente, Paulo Freire deixou clara a necessidade de se ter sempre **visão sistêmica**, não importando em qual instância de par sistema-ambiente se está a falar, muito menos em qual área do conhecimento se trabalhe. Em outras palavras, **a busca por visão sistêmica se faz necessária em qualquer profissão.** Mas ela começa com a observação, razão primeira deste capítulo.

1.1 Observador e Observado

O ato da **observação** envolve duas entidades, Fig. 1.2: (a) o agente que realiza a observação, aqui chamado de **observador**, e (b) o objeto a ser observado, aqui denominado **mundo**. Como se sabe, qualquer ser vivo, seja homem ou bactéria, é capaz de observar o

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

mundo que o contém. O ato da observação faz uso de toda a estrutura sensorial (os vários sentidos) do observador. Vale dizer que, sem tal estrutura, não há como realizar a observação¹.



Fig. 1. 2: Observador e objeto observado.

Dos humanos aos organismos unicelulares, os seres vivos possuem estrutura sensorial que dá suporte à observação; por isso, são capazes de "reconhecer" um nicho ecológico no ambiente onde estão. Cada qual tem a capacidade de alimentar-se, crescer e reproduzir-se. Nascer, crescer, reproduzir-se e morrer, são características necessárias de qualquer organismo vivo. Mas não bastam, não são suficientes: a preservação da vida acontece na espécie, e não no espécime (o ser vivo, nasce, cresce, reproduz-se e morre, mas sua transcendência está na tentativa de garantir a preservação de sua espécie).

¹A estrutura sensorial, além de presente em organismos vivos, pode fazer parte de artefatos (arte-fato: feito com arte, objetos construídos pelo ser humano, como robôs, aviões, etc.). Neste texto, não será tratada a observação por artefatos.

Como este texto trata de Teoria Geral de Sistemas, e como um sistema é construído na mente consciente, o observador de interesse é o ser humano. Além da capacidade de observação, este é o único ser vivo a possuir mente consciente, isto é, o único capaz de refletir sobre o que foi observado (para o bem ou para o mal das demais espécies e do planeta que as abriga). Trata-se, pois, de observação reflexiva, essencialmente humana.

A observação do mundo onde está inserido permite ao ser humano ter, como resultado, um **panorama** do que acontece à sua volta. É preciso esclarecer que o termo **panorama**, escolhido aqui, não se refere apenas à construção mental daquilo que é observado pelos olhos, mas ao que é captado por todos os sentidos (além da visão, propriamente dita, olfato, tato, audição e paladar) e também ao que resulta das reflexões contínuas que a mente opera durante toda a vida: avaliações, análises, sínteses, comparações, inferências, usos de memória, etc. Desta forma, mesmo uma pessoa com perda de visão ou de qualquer outro dos sentidos da percepção física terá seu panorama de mundo.

O ser humano observa o mundo desde que nasce. E esta observação continuada o permite conhecê-lo cada vez mais. **Conhecer o mundo cada vez mais** significa que tal conhecimento jamais será completo, estará sempre sendo atualizado. Em outras palavras, o conhecimento individual de mundo é incompleto, dinâmico, aberto, em construção. Por isso, pode sofrer mudanças (pequenas, grandes, radicais) durante a existência. Provavelmente, o primeiro registro de que o conhecimento humano do mundo jamais será completo é de **Platão** (2010), em sua conhecida **Alegoria da Caverna**, a ser abordada ainda neste texto.

O panorama de mundo que o ser humano pode ter é diferente do mundo real, dada à altíssima complexidade deste e à indispensável ingerência de fatores subjetivos à percepção. De acordo com o conhecimento atual, por exemplo, o universo pode conter mais de **um trilhão** de galáxias e mais de **100 quatrilhões** de estrelas, como nos ensina o Prof. Renato Las Casas (1991=9), da UFMG. A estimativa é fruto da mente, de panoramas construídos

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

mentalmente, via observação deste mesmo mundo. Resulta de conhecimento acumulado por milênios pela espécie humana e passado às gerações subsequentes. Não se pode dizer que tal conhecimento é passado apenas "de pai para filho, via comunicação oral", pois sua transmissão pode saltar gerações, como é o caso do conteúdo dos Pergaminhos do Mar Morto (WILSON, 2009), descobertos no século XX, mas datado de cerca de 2000 anos. Se apenas fosse possível a transmissão oral (de "pai para filho"), certamente, o conhecimento gerado naquela época teria sido perdido. Daí a importância do registro do conhecimento.

Bibliotecas e museus são, portanto, templos do conhecimento. Mas, antes de elas existirem, havia conhecimento "embutido" nos monumentos, utensílios e práticas sociais em geral: um conhecimento objetivado, cuja tradução em saber "puro" nem sempre é fácil recuperar.

O panorama de mundo resultante da observação de um ser humano nada mais é do que uma construção mental do mundo real, que está longe de representar o conhecimento exato desse mundo. Ao contrário, é indireto, parcial e, além disso, personalizado; cada qual tem o seu, decorre de sua história de vida e tem a ver com as necessidades mais imediatas, não iguais às de qualquer outra pessoa.

A ínfima dimensão do cérebro, quando comparada à do universo, já é evidência clara da impossibilidade de se conhecer o mundo real em toda a sua plenitude, como constatou **Platão**, na **Alegoria da Caverna**. Surpreendente o fato de o texto de Platão datar de cerca de 400 anos antes de Cristo, isto é, de um tempo distante do nosso perto de 2400 anos. É ou não é notável a observação do mestre, hoje comprovada pela ciência e, como sempre, oportuna.

O cérebro do ser humano moderno tem algumas dezenas de bilhões de neurônios, ocupando espaço de cerca de **1.350 cm³**, maior que os 1.000 cm³ dos últimos representantes do **Homo erectus**, nosso ancestral (MAYR, 2001):

Por volta de dois milhões de anos atrás, um tipo muito diferente de homínido surgiu de repente no leste da África. ... Uma análise do DNA mitocondrial deles revelou que as linhagens do homem de Neandertal e do *H. sapiens* se separaram há cerca de 465.000 anos.

Os *H. sapiens* que invadiram a Europa ocidental, conhecidos como Cro-Magnons, foram muito bem-sucedidos mas não apresentaram mudanças anatômicas consideráveis, especialmente no tamanho do cérebro (1.350 cm³), durante quase 100 mil anos de domínio.

Alimentados no cérebro por cerca de **750 ml de sangue - quase uma garrafa de vinho** segundo Herculano-Houzel (2002) - os neurônios são estruturados e inter-relacionados de tal forma, que permitem a **emergência de uma mente consciente** poderosa. E é justamente essa mente que é capaz de construir a visão de mundo do indivíduo a que pertence. O longo processo de **evolução via seleção natural**, chegou a este fantástico fenômeno. Se, por um lado, o conhecimento de mundo que o ser humano pode construir contém apenas fragmentos (ou sombras, como nos ensinou Platão) do mundo real (justamente pela extrema complexidade deste), por outro, tem a vantagem de ser um "bom" conhecimento do mundo imediato que o cerca, na medida que lhe permite adaptar-se ao seu nicho ecológico, algo determinante para sua sobrevivência (que implica alimentar-se, crescer e reproduzir-se, aumentando a probabilidade de preservação da espécie). Dispõe, assim, de excelência pragmática, utilitária. Além disso, a mente consciente, apesar sua visão apenas razoável do imediato, é capaz de refletir sobre o que percebe, modificar a percepção, reconstruí-la e, até mesmo conceber mentalmente um mundo todo novo, ainda não existente; será capaz de antever um cenário futuro. Se tal cenário fizer parte de uma meta factível (possível de vir a existir), o ser humano poderá trabalhar para alcançá-la, modificando o meio ambiente. É o chamado "sonho" possível de se realizar. É ou não é poderosa, a mente humana?

Mesmo em um livro didático, não posso me negar a fornecer informações sobre estudos que possam contestar conceitos que sustento ou sustentava. Eu usava a expressão

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

representação mental até que, instado sobre seu uso como significando **representação interna**, tive acesso a um trabalho de Francisco Varela (2000), no qual ele apresenta dois modos de descrição do comportamento de sistemas em seu ambiente:

- a) o primeiro "pressupõe o **espelho** ou a representação de figuras", ou seja, que "a explicação tradicional de que o sistema tem algum grau de representação interna do ambiente físico";
- b) o outro pressupõe "o sistema como sendo do tipo cognitivo autônomo: um agrupamento de estruturas ativo e auto regulável, capaz de informar seu meio ambiente dentro de um universo e através de um histórico de ligação estrutural com ele", **não aceitando, portanto, a representação interna.**

Varela discorda da maioria dos neurocientistas que, segundo ele, encampam (ou encampavam) o conceito de representação mental. Este tema parece ainda não ter conseguido consenso científico. No entanto, dada a relevância do trabalho de Varela (2000), cuja leitura recomento, neste texto será adotada a expressão **construção mental** ao invés de representação mental, o que não significa tentativa de interferir na importante discussão desse assunto.

No início da década de 1990, Rodney Brooks (1991), do MIT, propôs em artigo uma arquitetura para robôs móveis inteligentes que denominou de **Subsumption Architecture**. Tal arquitetura de hardware tinha a forma de cebola e, nela, cada "casca" era chamada de **camada produtora de atividade**. Tal arquitetura permite a um robô emular (simular, imitar) o comportamento de lagartixa e artrópodes em geral - vagar por seu ambiente, evitando obstáculos - e ainda perseguir uma fonte de energia quando sua bateria atinge um nível crítico de carga. No entanto, no texto do artigo, Brooks **repele qualquer forma de representação interna do conhecimento, alegando que a melhor representação do ambiente é o próprio ambiente. Seus robôs eram dotados de sensores capazes de detetar modificações**

ambientais e, em função disso, reagir. No mesmo número deste periódico, David Kirsh (1991), publicou outro artigo comentando o de Brooks. Nele, Kirsh (1991) reconhece a grande variedade de comportamentos que podem ser emulados com a arquitetura proposta por Brooks, na qual o robô de fato não possui representação interna. Mas ressalta que, **na medida em que se dota tal artefato com algum tipo de representação interna, sua potencialidade é multiplicada por um sem número de vezes.**

A Robótica e a Inteligência Artificial, surgidas nos anos 1950, são áreas notadamente interdisciplinares, talvez as primeiras. Por isso mesmo são, frequentemente, alvo de críticas por parte de pesquisadores das disciplinas que lhes emprestam, no mínimo, inspiração. No prefácio de Humberto Maturana, no livro "De Máquinas e Seres Vivos", em coautoria com Varela (1997, pp. 13), isso fica muito claro,

Durante os anos 1958 e 1959, após doutorar-me na Universidade de Harvard, trabalhei no Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), no Departamento de Engenharia Elétrica, no Laboratório de Fisiologia. Nesse departamento, também havia um Laboratório de Inteligência Artificial. Ao passar todos os dias perto desse laboratório, sem entrar nele, escutava as conversações dos mais eminentes pesquisadores em robótica da época, os quais diziam que o que eles faziam era usar como modelo os fenômenos biológicos. Marvin Minsky era um deles. A mim parecia, ao escutá-los, que o que eles faziam não era modelar nem imitar os fenômenos biológicos, senão imitar ou modelar a aparência destes no âmbito de sua visão como observadores.

Como se vê, a discussão prossegue; certamente, em breve, a Neurociência nos dará uma resposta consensual. No entanto, em minha modesta opinião, Maturana **acertou na mosca**. A mente (brilhante, diga-se) consciente que cria/desenvolve este tipo de artefato procura imitar ou modelar a aparência (no âmbito da visão do observador a que pertence) de organismos vivos, sem se importar com o que acontece, de fato, na estrutura deles. A observação é de comportamento, não de processos biológicos. A

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

altíssima complexidade (da estrutura, não da aparência) dos fenômenos biológicos talvez seja a principal razão.

Se o objetivo é conseguir emular comportamentos específicos (como a busca por alimentos/recarga de bateria, por exemplo), é possível consegui-lo com estruturas significativamente mais simples do que a dos seres biológicos, como o fez Rodney Brooks. Ao imitar o voo dos pássaros e não o mecanismo biológico de sustentação no ar, como tentara Ícaro, Santos Dumont inventou o avião e o testou, pilotando-o, diante de mais de mil espectadores. A estrutura de seu **14 BIS** nada tem a ver com a dos pássaros, embora tenha atingido objetivo similar, isto é, o deslocamento aéreo (do ser humano) em grandes distâncias (MUSEU, 2001).

O “14 BIS” tem capacidade para um tripulante. Foi o primeiro avião mais pesado que o ar a conseguir decolar por seus próprios meios. Esse fato histórico teve lugar em Bagatelle (centro de Paris), no dia 23 de outubro de 1906. Nessa data, Santos Dumont decolou com seu “14 BIS” e percorreu 60 metros em 7 segundos, voando a uma altura de 2 metros do solo, perante mais de mil espectadores e da Comissão Oficial do Aero clube da França, que era uma instituição de reconhecimento internacional e autorizada a homologar qualquer descoberta aeronáutica marcante, tanto no campo dos aerostatos (veículos mais leves que o ar), como no dos aeródinos (veículos mais pesados que o ar).

No Laboratório de Inteligência Artificial, do MIT, além de Minsky, citado por Maturana, havia também Herbert A. Simon (1981), autor, dentre outros, de um livro fantástico chamado **As Ciências do Artificial** (1981) e John Mc Carthy (2001), em cuja home page pode ser encontrada sua obra.

Antonio Damásio (1996, 2000, 2003, 2004) elaborou um modelo de mente consciente, a partir de suas pesquisas em Neurociência, segundo o qual **o cérebro precisa estar acoplado a um corpo para que possa emergir uma mente consciente**. Esta mente consciente é capaz de façanhas que impressionam pela complexidade envolvida, como a de poder construir panoramas de mundo e fazer reflexões sobre esses panoramas, atualizando-os

sempre que necessário. Tais atualizações constituem a dinamicidade do panorama de mundo construído na mente consciente. Elas fazem com que as pessoas evoluam intelectualmente. Sobre o modelo de mente consciente de Damásio (envolvendo corpo, cérebro e mente), Suzana Herculano-Houzel (2002, p. 146) disse:

Se ele estiver certo, sem cérebro não há consciência – mas sem corpo também não. Segundo Damásio, a consciência depende do corpo específico que abriga o cérebro, aquele corpo que vem interagindo com o mundo, sendo modificado pela interação, o corpo no qual as reações emocionais acontecem, e cujas lembranças ficam guardadas no cérebro. Por isso, mesmo se fosse possível reproduzir os padrões neurais do cérebro de uma pessoa, não seria possível experimentar sua consciência. Pela mesma razão, a consciência não deixa o corpo junto com o cérebro. Escritores de ficção científica, anatem essa: aquele cérebro brilhando sozinho dentro de uma redoma de vidro pode até continuar funcionando, mas não tem consciência [...].

Ao dizer "a consciência não deixa o corpo junto com o cérebro", Herculano-Houzel (2002) realça a conclusão de Damásio de que o cérebro acoplado ao corpo faz emergir a mente consciente no ser humano. Repetindo Damásio (1996), reforçado por Herculano-Houzel (2002), o cérebro sobre o corpo humano faz emergir uma consciência, independentemente da vontade de seu proprietário.

1.2 Visões de Mundo

A **construção mental** (ou **panorama**) será aqui denominada **visão de mundo**. A visão de mundo é individual, ou seja, pertence à pessoa que a construiu na mente consciente; e é, portanto, única e dinâmica, posto que atualizada constantemente. A individualidade da visão de mundo decorre da trajetória de vida de seu hospedeiro, razão pela qual jamais existirão duas visões de mundo iguais. Portanto, cada ser humano tem a sua própria visão de mundo, ver Fig. 1.3, que não é inteiramente igual à visão de mundo de qualquer

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

semelhante seu. A famosa torre inclinada certamente produz construções mentais distintas em observadores diferentes. Um pode achar que foi um erro de engenharia, enquanto o outro pode ficar fascinado com a intenção do projetista em produzir exatamente o observado.

A diversidade de visões de mundo, ao contrário do que possa parecer, é benéfica para a espécie humana, porque permite que cada qual contribua de maneira distinta na escolha de rumos para grupos sociais, enriquecendo o patrimônio grupal.

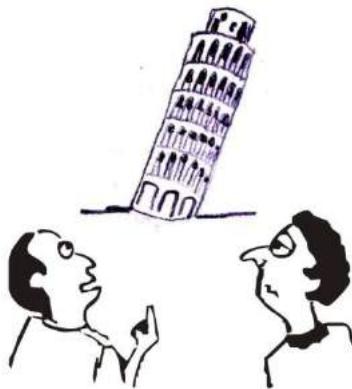


Fig. 1. 3: Visões individuais e distintas de mundo.

Não significa dizer que não haja alguns aspectos iguais em duas ou mais delas. Uma visão de mundo pode ser considerada um conjunto dos aspectos que a compõem. Não há razão para supor que qualquer dos elementos de uma visão de mundo esteja excluído da possibilidade de pertencer à visão de mundo de outro indivíduo. Mesmo que sejam poucos os elementos comuns às duas visões de mundo.

Considerando-se a visão de mundo como um conjunto de aspectos, pode-se lançar mão de alguns conceitos oriundos da **Teoria dos Conjuntos**. Para ilustrar essa aplicação, considere os conjuntos das idades dos jogadores de dois times de futsal, representados como **TimeA** e **TimeB**, da seguinte maneira:

TimeA = {22, 23, 26, 28, 29}

TimeB = {23, 24, 27, 29, 33}

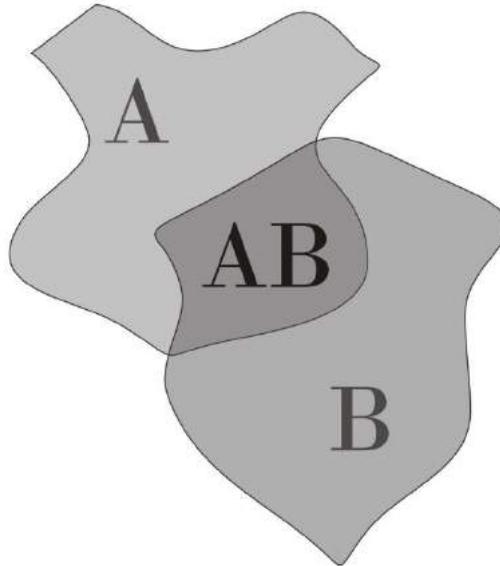


Fig. 1. 4: Interseção entre dois conjuntos.

É claro que esses dois conjuntos só seriam iguais se os elementos do TimeA fossem exatamente os mesmos elementos do TimeB. Como existe pelo menos um elemento do TimeA que não pertence ao TimeB (de fato, existem dois elementos que pertencem aos dois conjuntos simultaneamente), diz-se que os dois conjuntos são diferentes. Isso mesmo quando, como é o caso, dois elementos (23 e 29) pertencem aos dois times ao mesmo tempo. É possível, entretanto, formar um terceiro conjunto contendo os elementos que pertencem aos dois conjuntos TimeA e TimeB, simultaneamente, $\text{TimeAB} = \{23, 29\}$. O conjunto TimeAB é chamado de conjunto interseção de TimeA e TimeB, Fig. 1.4. Na figura, vê-se a parte comum, Time AB, que pertence aos dois conjuntos TimeA e TimeB, ao mesmo tempo. Esta região contendo

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

os elementos comuns aos dois conjuntos é chamada de conjunto interseção.

Evidentemente, o número de aspectos que formam a visão de mundo de uma pessoa é muito maior que o de elementos de um time de futsal. Embora, *grosso modo*, possa-se compará-los conceitualmente, a grandeza desse número torna difícil conhecer e explicitar todos os aspectos, ao contrário do que acontece no exemplo acima da idade dos jogadores dos times de futsal. O conceito de **conjunto interseção**, torna-se, então, providencial porque nos permite raciocinar em bloco sobre elementos que individualmente não somos capazes de listar.

- **Definição 1.1**

Visão de mundo individual (ou, simplesmente, **visão de mundo**) é o conjunto de todos os aspectos construídos mentalmente por um indivíduo, como resultado do processo de observação/reflexão de seu mundo.

Essa é a **visão de mundo** aqui adotada, com todas as restrições que, porventura, venham a ser interposta. O importante é que serve perfeitamente ao que aqui se pretende. E é com base nessa definição de visão de mundo individual (ou pessoal) que se pode definir o outro tipo de visão de mundo: a **visão de mundo coletiva**.

- **Definição 1.2**

Visão de mundo coletiva (ou, simplesmente, **paradigma**) é o conjunto interseção de duas ou mais visões de mundo individuais.

Qualquer visão de mundo (o conjunto de seus aspectos) modifica-se, a critério de seu possuidor/construtor, pela retirada, acréscimo ou transformação de um ou mais de seus aspectos constituintes. Como todos os seres humanos vão recompondo sua

visão de mundo ao longo da vida, alteram-se também os paradigmas, resultantes daquela. Não poderia ser diferente.

Exemplos simples de visão de mundo coletiva o ilustram: torcedores de um mesmo time de futebol; fiéis de uma mesma religião; políticos de um mesmo partido, etc. Em cada caso, são pessoas que podem ter visões de mundo distintas em muitos aspectos, exceto um (o da paixão ou escolha) e, como já tratado, basta um único aspecto comum às visões individuais para que haja um conjunto interseção não vazio. Evidentemente, pode haver mais de um aspecto (mais de uma escolha ou paixão) compondo a visão coletiva partilhada por duas ou mais pessoas.

Qualquer grupo social de seres humanos pode ser identificado pelos aspectos comuns de suas visões de mundo individuais. Por exemplo, o grupo social de eleitores de um candidato a um cargo majoritário, como governador ou senador da República, ou mesmo os amantes do belo **Festival Folclórico de Parintins**, onde o número de turistas quase faz dobrar sua população de cerca de 100 mil pessoas. Emoção e alegria resultantes deste festival anual são compartilhadas por boa parte da população de sua Parintins. O mesmo vale para o Carnaval na cidade do Rio de Janeiro ou para a festa do Círio de Nazaré, em Belém do Pará.

A própria comunidade científica inclui grupos que compartilham determinadas "crenças" ou "certezas". Marcelo Gleiser (2010, p. 13-14), físico brasileiro e professor de Filosofia Natural e Astronomia no Dartmouth College, explora um pouco essa questão, revelando a evolução de sua **visão de mundo científica**.

Neste livro, veremos que a crença numa teoria física que propõe uma unificação do mundo material – um código oculto da natureza – é a versão científica da crença religiosa na unidade de todas as coisas. Podemos chamá-la de "ciência monoteísta". Alguns dos maiores cientistas de todos os tempos, Kepler, Newton, Faraday, Einstein, Heisenberger e Schrödinger, dentre outros, dedicaram décadas de suas vidas buscando esse código misterioso, que, se encontrado, revelaria os grandes mistérios da existência. Nenhum deles teve sucesso. Nos dias de hoje, físicos

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

teóricos, especialmente aqueles que estudam questões relacionadas com a composição da matéria e a origem do universo, chamam esse código de "Teoria de Tudo" ou "Teoria Final". Será que essa busca faz sentido? Ou será que não passa de uma ilusão, produto das raízes míticas da ciência?

Gleiser (2010), nesse mesmo livro, diz que após terminar o doutorado fez parte integrante do grupo social (científico) que busca uma **Teoria Final**, até que mudou de opinião. Alguns aspectos de sua compreensão de mundo que o faziam pertencer a esse grupo foram "arrancados" e ele o abandonou, o que mostra o dinamismo de sua visão de mundo.

Na biologia, por exemplo, há o grupo dos **biólogos criacionistas**, para os quais a criação divina do ser humano ocorreu de uma única vez. E há o dos **biólogos evolucionistas**, que afirmam que o ser humano é o resultado da **evolução via seleção natural**, não afirmando ou negando, necessariamente, qualquer interferência divina. Este último grupo é, neste começo de século XXI, amplamente majoritário. Mas nem sempre foi assim. No século **XIX**, quando **Darwin** publicou seu livro **A Origem das Espécies** em 1859, os biólogos criacionistas eram a maioria (ZIMMER, 2003).

Como já dito acima, a **visão coletiva**, aqui, receberá o nome de **paradigma**, que não deixa de ser um **modelo de compreensão de mundo** sob o ponto de vista do grupo social que a partilha. As duas visões de mundo, **criacionismo** e **evolucionismo** também são conhecidas, respectivamente, como **paradigma criacionista** e **paradigma evolucionista**, respectivamente.

O mundo a ser observado tem merecido reflexões diversas. E é interessante tecer alguns comentários sobre de que mundo se está a falar neste texto. Em seu livro **Em Busca de um Mundo Melhor**, **Karl R. Popper** (1992) utiliza três espécies de mundo, denominando-os **Mundo 1**, **Mundo 2** e **Mundo 3**, dos quais diz serem distintos, interdependentes e assim definidos:

- **Mundo 1**

O mundo físico, das coisas materiais, das duas espécies de corpos: vivos e inanimados. A Terra, o Sol, as Estrelas pertencem a este mundo.

- **Mundo 2**

O mundo das nossas emoções, sobretudo das emoções dos indivíduos. O mundo de todas as emoções conscientes e, presumivelmente, de emoções inconscientes.

- **Mundo 3**

O mundo dos produtos objetivos do espírito humano, que contém coisas como livros, sinfonias, esculturas, sapatos, aviões, computadores, assim como, certamente, objetos materiais que pertencem simultaneamente ao Mundo 1.

A divisão de mundo feita por Popper (1992) é tentadora por permitir, aos estudos sobre mundo observado e observador humano, um alcance maior de análise. Entretanto, por ser este texto material com intenções puramente didáticas, o autor declina aqui dessa honrosa possibilidade e fica somente com o que Popper chama de **Mundo 1** e da parte do **Mundo 3** que pertence simultaneamente ao **Mundo 1**, para representar o **Mundo** de que se tratará aqui. Em outras palavras, o mundo a que este texto se reporta é o que existe independentemente da existência do ser humano (planetas, galáxias, átomos, etc.), além do que é formado pelos produtos objetivos do espírito humano (segundo Popper), também conhecidos como artefatos (feitos com arte, pelo ser humano). A observação feita em dado tempo pelo ser humano inclui não apenas as coisas do universo, ou seja, as que já existiam antes do surgimento do ser humano e/ou que passaram a existir depois sem sua interferência, mas também todas as que foram feitas até então pelo ser humano ou de cuja criação ele participou indiretamente; inclui ainda aquilo que é acessível através de ferramentas físicas e teóricas desenvolvidas pela Humanidade. Dessa forma, o mundo aqui tratado inclui, dentre outros, astros celestes e partículas, rios e montanhas, seres vivos e

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

inertes, elementos químicos e ondas eletromagnéticas, livros e computadores, etc.

1.3 Alegoria da Caverna

A maior parte do mundo não é alcançável pela estrutural sensorial do observador devido sua limitada capacidade de observação e da altíssima complexidade daquele. Portanto, qualquer visão de mundo resulta do que é adquirido apenas do espaço observável e da reflexão sobre tal observação. Significa que qualquer visão de mundo individual contém apenas "sombras" da realidade.

Marilena Chauí (1997, p. 46) diz que "Sócrates e Platão consideram as opiniões e as percepções sensoriais, ou imagens das coisas, como fonte de erro, mentira e falsidade, formas imperfeitas do conhecimento que nunca alcançam a verdade plena da realidade".

É conhecido o fato de que não há registros atribuídos a Sócrates: tudo que se conhece dele provém de discípulos e seguidores. Antes de Sócrates, os chamados pré-socráticos procuravam explicar o mundo através de mitos. Sócrates representa, portanto, um divisor de águas na forma de se tentar compreender o mundo.

Todos os mitos, envolvendo deuses, como Apolo, Júpiter, etc., vem dos pré-socráticos, segundo Chauí (1997, p. 205).

Por exemplo, entre os mitos gregos, encontra-se o da origem do fogo, que Prometeu roubou do Olimpo para entregar aos mortais e permitir-lhes o desenvolvimento das técnicas. Numa das versões desse mito, narra-se que Prometeu disse aos homens que se protegessem da cólera de Zeus realizando o sacrifício de um boi, mas que se mostrassem mais astutos do que esse deus, comendo as carnes e enviando-lhe as tripas e gorduras. Zeus descobriu a artimanha e os homens seriam punidos com a perda do fogo se Prometeu não lhes ensinasse uma nova artimanha: colocar perfumes e incenso nas partes dedicadas ao deus.

Sócrates e seus seguidores estabeleceram os princípios que vieram a possibilitar o desenvolvimento do método científico, adotado hoje (CHAUÍ, 1997).

A Filosofia começa dizendo não às crenças e aos preconceitos do senso comum e, portanto, começa dizendo que não sabemos o que imaginávamos saber; por isso, o patrono da Filosofia, o grego Sócrates, afirmava que a primeira e fundamental verdade filosófica é dizer: 'Sei que nada sei'.

A Filosofia e a Ciência partem deste princípio. Se o objetivo é fazer pesquisa científica sobre a origem do universo e do ser humano, por exemplo, cosmogonias religiosas como a do cristianismo – do Gênesis a Adão e Eva - devem ser descartadas, admitindo-se que o resultado dos estudos poderá negá-las, contribuir para sua compreensão e, eventualmente, confirmá-las de alguma forma. Como premissa, é preciso **dizer não às crenças**, por mais caras que nos sejam, e **aos preconceitos do senso comum**.

O aluno de Sócrates mais famoso, **Platão**, escreveu o que chamou de Diálogos. Um dos volumes, **A República**, contém os Livros de I a X. No Livro VII, Platão descreve um diálogo entre Sócrates e Glauco, em que estabelece o que ficou conhecido como **A Alegoria (ou Mito) da Caverna** (PLATÃO, 1970). Segundo Platão, Sócrates pede a Glauco que imagine um grupo de pessoas confinadas desde seu nascimento em uma toca ou caverna subterrânea, amarradas em cadeiras e de costas para a entrada da caverna. Como não podiam movimentar a cabeça para os lados, tudo o que podiam ver era a sombra oriunda da luz que nela entrava e projetada na parede à sua frente, das pessoas ou coisas que passavam pela porta da caverna.

As sombras projetadas na parede eram a única realidade que conheciam. Se, por ventura, uma dessas pessoas pudesse se libertar e sair da caverna iria, a princípio, ficar ofuscada com a luz. Mas, tão logo a vista fosse se acostumando com a luz aumentada (a rigor, a pupila tende a fechar ou abrir quando o nível de iluminação

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

aumenta ou diminui, respectivamente, protegendo o fundo do olho), o ex-prisioneiro passaria a ver coisas completamente diferentes das sombras que estava acostumado, e achando que o que havia visto até então eram na verdade sombras mesmo, certamente ficaria convencido disso. Mas se, por acaso, pudesse voltar ao lugar que ocupara antes e tentasse convencer os demais dessa descoberta, seus ex-companheiros de grilhões teriam muita dificuldade em acreditar.

O que Platão desejou enfatizar, dentre outras coisas, é que a caverna é o mundo visível, observável, e tudo o que conseguimos ver representa apenas sombras da realidade, cuja complexidade não pode ser inteiramente apreendida por nossa mente, via nossa estrutura sensorial. Recomenda-se, ao leitor, a leitura de **A República**, de Platão (1970), para tirar suas próprias conclusões.

1.4 Instintivo, Inato, Genético

Um vídeo da BBC, denominado *Instintos: o lado selvagem do comportamento humano* (2005), apresenta quatro importantes instintos relacionados com (a) sobrevivência, (b) desejo, (c) competição e (d) proteção.

Qualquer ser humano, em condições ditas normais nasce com todos eles. Argumentando por absurdo, suponha que um ser humano consiga nascer sem, digamos, o instinto de sobrevivência. Sua chance de chegar a idade adulta para conseguir reproduzir descendentes e, assim, passar seus caracteres genéticos, é bem menor que a de qualquer outro que o tenha - a bem dizer, nenhuma. Não teria como fugir de predadores ou mesmo livrar-se de situações que o poderiam levar à morte.

Após milhares de gerações, com base no paradigma evolucionista, praticamente todos já nascem com o instinto de sobrevivência (e demais instintos), graças ao processo de seleção natural.

Wladimir Herzog apresentou-se para dar depoimento a um dos órgãos repressores da ditadura militar brasileira, na cidade de São

Paulo, na década de 1970; horas depois, estava morto. Para "justificar" sua morte, o órgão oficial do governo divulgou uma fotografia de Herzog supostamente enforcado com um cinto. O corpo do jornalista aparecia na foto com os quadris a poucos centímetros do chão da cela em que se encontrava, indicando claramente que não poderia ter havido o suicídio por enforcamento, pois seu instinto de sobrevivência o impediria. Mesmo inconscientemente, suas pernas o levantariam, impedindo o suicídio. A ignorância daquelas pessoas permitiu questionar, sem réplica possível, a versão oficial sobre a morte do jornalista brasileiro, abrindo espaço para novas descobertas sobre o que se tentava encobrir na mais recente ditadura em terras brasileiras.

Hoje, em alguns países, em especial naqueles em que a refeição conhecida como **fast-food** é utilizada por boa parcela de sua população, a obesidade é problema grave de saúde pública: a quantidade de calorias que este tipo de refeição fornece é exagerada e inadequada à distribuição de nutrientes. Por que razão as pessoas gostam tanto deste tipo de alimento? O vídeo da BBC sobre instintos responde a essa questão. Os ancestrais humanos não dispunham de restaurantes tipo **fast-food** ou **self-service**, como hoje. Evidências científicas, Mayr (2005), mostram que o homem moderno, como nós, já existia há cem mil anos; sua refeição era resultado de caça ou de coleta, quando isso era possível. A próxima refeição, sabe-se lá quando haveria. Então, as pessoas tinham, por instinto de sobrevivência, o hábito de dar preferência a comida com alto teor de gordura (alimentos altamente calóricos), forçando o organismo armazenar a gordura excedente para usá-la enquanto não conseguissem a próxima refeição; quem se comportava assim tinha muito mais chance de sobreviver do que quem moderasse o apetite. Com mais chance de sobreviver e chegar na idade adulta e reproduzir-se, os comilões conseguiam passar seus caracteres genéticos aos descendentes. Os demais morriam antes da idade da reprodução, levando consigo seus genes do tipo "geração saúde". Refeições disponíveis em breves intervalos de tempo datam de no

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

máximo cem anos, pelo menos em muitos países; prevalece, assim, a preferência alimentar arraigada há dezenas ou centenas de milhares de anos. Não é fácil bater de frente com hábitos que proveem de nosso instinto de sobrevivência. É óbvio que o mesmo acontece com os demais instintos básicos.

A menos que ocorram doenças genéticas, como nos casos de anencefalia, ou em decorrência de lesões intrauterinas, todos os mamíferos nascem com cérebros, mesmo que ainda não completamente prontos. Um bezerro pode caminhar cerca de duas horas depois de nascer; já um bebê humano mal consegue se sentar aos seis meses de vida. A explicação para isso, segundo o vídeo da BBC é que o bezerro já nasce com cérebro pronto. Ao tornar-se bípede, a mulher (nossa ancestral) teve a pélvis encolhida, o que dificultou a passagem de um cérebro pronto, como os demais mamíferos. O bebê humano teve que nascer antes de o cérebro ficar pronto, portanto. Isso trouxe uma desvantagem evolutiva para o ser humano que, durante os primeiros meses de vida, fica extremamente dependente de adultos. Por outro lado, esse mesmo fato trouxe a reboque uma vantagem evolutiva: não havia mais pressa em completar o cérebro, ou seja, ele tem mais condições de evoluir depois do nascimento. De nosso cérebro emerge uma mente consciente, independentemente de nossa vontade. Que bom, não?

Sobre o aumento do tamanho do cérebro (de 450 cm³ nos australoptecinos – assim permanecendo durante mais de 2 milhões de anos – para 1350 cm³ no *Homo sapiens*), Ernst Mayr (2005, p. 215-216) nos diz que

Para atingir o tamanho muito aumentado do cérebro adulto do *Homo*, o crescimento do cérebro tinha de ser acelerado desde os primeiros estágios embrionários. Mas isso causava novas dificuldades durante o nascimento da criança. A postura vertical impôs um limite para o tamanho do canal do parto da mãe. A cabeça do recém-nascido não poderia exceder certo tamanho, e parte do crescimento do cérebro da criança, portanto, teve que ser postergado para o período pós-parto. Em outras palavras, a criança tinha de nascer prematuramente. A medida que o crescimento do cérebro

era cada vez mais postergado para a época pós-parto, o recém-nascido se tornava crescentemente imaturo e indefeso. Um bebê humano leva cerca de dezessete meses para alcançar a agilidade e a independência de um bebê chimpanzé.

O Mestre Mayr nos assegura que "um bebê humano leva cerca de dezessete meses para alcançar a agilidade e a independência de um bebê chimpanzé". Isso em termos físicos, claro. É o preço que os seres humanos têm por terem, ao contrário dos chimpanzés e outros mamíferos, uma mente consciente. E, convenhamos, não é um preço tão alto assim.

Uma metáfora ilustraria bem este fato. Coloque seu carrinho com motor 1000 cm³ (1.0) ao lado de um jato comercial em uma pista de aeroporto para iniciar uma corrida. Dada a largada, o carrinho saltaria na frente. Mas, antes do final da pista, o jato não apenas o ultrapassaria, como também decolaria, coisa que o pobre veículo popular jamais conseguiria.

Fruto de nossa mente consciente, a construção mental é, portanto, característica inata; depende apenas de nos expormos a ambiente propício para que o desenvolvimento seja bem sucedido. Não temos mais controle sobre sua ocorrência. Não é um ítem opcional. Já vem "de fábrica". Faz parte do arsenal de caracteres que emergiram durante a evolução via seleção natural.

1.5 E Viva a Mente

O relato do cirurgião inglês William Cheselden, incluído no livro **Inteligência Visual** de Donald D. Hoffman (2000), é capaz de ilustrar com clareza o que os médicos, agora, já sabem - que o ser humano nasce com a estrutura visual pronta para fornecer ao córtex visual apenas figuras planas. A noção de profundidade (a terceira dimensão) é aprendida. Primeiro, Hoffman informa que "Em 1728, Cheselden publicou (...) algumas observações feitas por um jovem cavaleiro, nascido cego, ou que perdeu a visão muito cedo (...) que

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

foi operado de catarata entre os 13 e os 14 anos de idade [...]. A cirurgia funcionou e a grande questão era: o que o rapaz veria?"

Em seguida, Hoffman diz que o cirurgião inglês, *atormentado*, dá o seguinte depoimento sobre o paciente por ele operado em uma cirurgia de catarata. (HOFFMAN, 2000, p. 17-18)

"Quando enxergou pela primeira vez, estava tão longe de fazer qualquer julgamento sobre distâncias, que julgava que todos os objetos, quaisquer que fossem eles, tocavam seus olhos (como ele próprio expressou), da mesma forma que o que sentia pelo tato tocava sua pele. [...] Relatarei apenas um particular (embora possa parecer insignificante); esquecendo sempre qual bicho era o 'gato' e qual era o 'cachorro', não tinha vergonha de perguntar; mas, apanhando o gato (que conhecia pelo tato), via-se que olhava para este firmemente e, em seguida, soltando o animal, dizia 'Então, Gatinho! Vou conhecer você em outro Momento (sic).' Pensávamos que ele logo saberia o que as figuras que lhe eram mostradas representavam, mas descobrimos, depois, que estávamos enganados; pois cerca de dois meses depois de ter sido operado, descobriu, repentinamente, que elas representavam corpos sólidos, uma vez que, até aquele momento, as considerava apenas como planos parcialmente coloridos, ou superfícies diversificadas, com variedade de Pintura (sic); mas mesmo nesse momento ele não ficou surpreso, com a expectativa de que as figuras fossem, ao tato, igual (sic) às coisas que representavam e ficou espantado quando descobriu aquelas partes, que por sua luz e sombra pareciam agora redondas e desiguais, fossem apenas, ao tato, planas, como o resto; e perguntava qual era o sentido que falseava a verdade, o tato ou a visão?"

Em geral, o desenvolvimento das potencialidades do ser humano acontece nos primeiros anos de vida. Certamente é o que acontece quando um bebê humano se aproxima de nós e estica o braço querendo nos tocar: está aprendendo a construir a terceira dimensão (profundidade). Da mesma forma é andar de forma bípede, que aprendemos nos primeiros anos de vida, como pode ser comprovado com a história das **meninas-lobo** que, ao serem criadas por lobos em completo isolamento dos seres humanos até serem encontradas e resgatadas, andavam como aqueles quadrúpedes, segundo Maturana & Varela (2003, p. 143-146).

Ao serem achadas, as meninas não sabiam caminhar sobre os pés e se moviam rapidamente de quatro. Não falavam e tinham rostos inexpressivos. Só queriam comer carne crua e tinham hábitos noturnos. Recusavam o contato humano e preferiam a companhia de cães ou lobos. Ao serem resgatadas, as meninas estavam perfeitamente sadias e não apresentavam nenhum sintoma de debilidade mental ou idiotia por desnutrição. Sua separação da família lupina produziu nelas uma profunda depressão, que as levou à beira da morte, e uma realmente faleceu.

O registro dramático das meninas-lobo explica a importância do ambiente para o desenvolvimento das potencialidades do ser humano. Apesar de nascerem com toda a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de suas características humanas, não foram expostas a algum tipo de ambiente em que o necessário estímulo externo fizessem com que elas a florescessem. Habilidades como falar, expressar sentimentos pela face (ao contrário dos caninos, nossa face é repleta de nervos, o que nos permite expressões de tristeza, alegria, etc., movimentando-os) e andar de forma bípede, não fazem parte do arsenal de habilidades dos lobos. Enfim, não se nasce com as habilidades humanas. Elas existem apenas potencialmente ao nascer: devem ser aprendidas, o que custa tempo e esforço. Não nos lembramos desse aprendizado (de andar, por exemplo) porque ocorreu na primeira infância. Mas, sem dúvida, não pode ter sido fácil, como qualquer bebê antes de completar um ano nos é capaz de mostrar. Uma frase mineira consegue traduzir a angústia deste tipo de aprendizado: *ocê só vê as pinga que eu tomo, não vê os tombo que eu levo*. Se Pelé tivesse nascido esquimó provavelmente não teria sido o maravilhoso jogador de futebol que foi; seria, talvez, excelente caçador ou construiria acolhedores iglus.

1.6 Visão de Mundo: Construção Mental

A pergunta do paciente do Dr. Cheselden - se era a visão ou o tato que estavam *mentindo*, é uma evidência de que as coisas que pensamos ver fora de nossa cabeça estão, de fato, dentro dela, como

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

construção mental, formando nossa visão de mundo. Steve Lehar (2010), em seu texto intitulado **Epistemologia da Experiência Consciente** chama essas duas correntes de pensamento de **percepção direta** e **percepção indireta**, respectivamente, sendo esta última a que prevalece, de acordo com Lehar, e será a adotada aqui. Ainda sobre o caso de Cheselden, continua Hoffman (2000, p. 19),

O caso de Cheselden confirmou, para Berkeley e a maioria dos seus discípulos, essa predição; o rapaz, afinal, "pensava que todos os objetos, quaisquer que fossem, tocavam seus olhos [...] da mesma forma que o que ele tocava fazia em sua pele", e ele precisava ver um gato enquanto o tocava, antes que pudesse reconhecê-lo apenas pela visão. Esse acontecimento levou à aceitação generalizada da teoria de Berkeley e de seu princípio central de associação.

Berkeley, a quem Hoffman se refere é George Berkeley (1685-1753) que em 1709 publicou, em Dublin, o *Ensaio por uma Nova Teoria da Visão*, de onde Hoffman (2000) extraiu o texto:

Todos concordam, penso eu, que a distância, por si mesma e de forma imediata, não pode ser vista. Pois sendo a distância uma linha traçada em direção ao olho, projeta apenas um ponto no fundo do olho, o qual permanece invariavelmente o mesmo, independente de ser a distância maior ou menor.

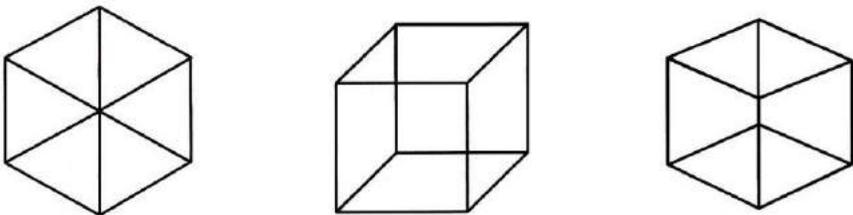


Fig. 2- 1: Cubo de Necker (ao meio) e cubos Koppermman nas laterais.

Fonte: (HOFFMAN, 2000, p. 22)

Lembre-se que é o objeto luminoso que emite a luz que chega até aos olhos, e não o contrário. E esse feixe luminoso viaja em linha

reta em um mesmo meio (por exemplo, o ar). Assim, se o objeto está a 4, 5, 10 ou 100 m de distância do olho, o ponto projetado no fundo do olho é o mesmo. Portanto, não há como determinar sua distância em relação ao olho. Os projetistas militares de radares (que fazem uso de ondas eletromagnéticas) e sonares (que usam ondas sonoras) resolveram esse problema, para detectar o inimigo, emitindo um sinal que é refletido no alvo e recebido de volta. Como o sinal viaja em linha reta em um mesmo meio (ar ou água, respectivamente) e a velocidades constantes, basta determinar o tempo de ida e volta para calcular a distância até o alvo. No entanto, o olho nada emite. Daí a impossibilidade de determinar a referida distância, mesmo que o olho tivesse uma calculadora para fazê-lo. Um exemplo, citado por Hoffman (2000) ilustra bem a quantidade de mundos que podem ser construídos mentalmente com a mesma imagem captada pelo olho.

[...] toda criança constrói um mundo visual com três dimensões espaciais – altura, largura e profundidade. Mas uma imagem só tem duas dimensões – altura e largura. Daí decorre que, para cada imagem dada, há infinitos mundos em 3D que poderiam ser construídos por uma criança, cada um sendo compatível com a imagem [...].

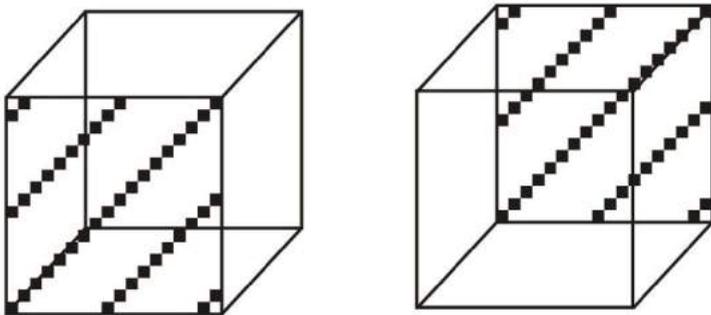


Fig. 2- 2: Duas possibilidades de construção mental do cubo de Necker.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Desse número de possibilidades de construções 3D feitas a partir de imagens 2D, uma ou poucas são escolhidas pelo observador para representar o que está observando. Veja o cubo de Necker que se encontra ao meio da Fig. 2-1, por exemplo. Dessa imagem única, que é plana (pois se encontra na página deste texto), dois cubos (objetos 3D) podem ser construídos na mente: como se sabe, o cubo possui 6 faces (quatro nas laterais, uma acima e outra abaixo; no cubo de Necker, as faces laterais da frente e de trás, são as que parecem ao observador um quadrado (as outras duas faces laterais parecem paralelogramos não quadrados). A Fig. 2-2 ilustra duas possibilidades de construção mental da posição do cubo de Necker: basta considerar em cada uma delas, que a face destacada está voltada para a frente. É claro que você consegue ver as duas construções de cubo (logo, em 3D) em sua mente. **Mas não ao mesmo tempo.** Além disso, uma vez construída na mente a imagem do cubo (em três dimensões, claro) nos é difícil devolvê-la ao seu estado anterior de duas dimensões como nos chegou aos olhos. Sobre a Fig. 2-1, diz Hoffman (2000, p. 22-23):

O cubo de Necker é do meio. À esquerda e à direita estão desenhos de linhas que, para a maioria de quem os vê, parecem planos; mas cada um deles representa uma visão possível de um cubo. Pode demorar um minuto para ver esses "cubos de Kopfermman".

Você vê facilmente o cubo de Necker em três dimensões, mas não os cubos de Kopfermman. Por quê?

[...] Em parte, porque você vê três dimensões em imagens que tem apenas duas a cada vez que você abre seus olhos. Os desenhos de Necker e Kopfermman não são neste aspecto, artificiais. Pois a imagem em cada olho, da mesma forma que um desenho no papel, só tem duas dimensões – não importa onde você está ou o que você vê. Andando na floresta, dirigindo um carro, ou sentado com amigos numa festa, você nunca capta três dimensões, mas apenas duas. Assim, você encara uma ambiguidade de princípio, cada vez que precisa ver profundidade. Essa ambiguidade é um caso especial do problema fundamental da visão:

O problema fundamental de ver a profundidade. A imagem no olho tem duas dimensões; logo, ela tem incontáveis interpretações em três dimensões.

Cabe aqui outra ilustração da variedade de possibilidades de construção mental de figuras 3D a partir de imagem 2D chegadas ao olho humano, mostrada na Fig. 2-3. As três imagens planas (pois estão impressas na página) podem rapidamente ser construídas na mente (da esquerda para a direita) como **cilindro**, **cone** e **cilindro seccionado**.

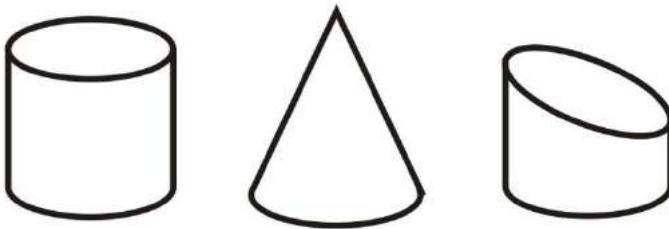


Fig. 2-3: Três sólidos geométricos.

No entanto se essas figuras fossem vistas de baixo, as imagens de cada uma delas seriam vistas como círculos, ilustrados na Fig. 2.4, onde a inferência para os três sólidos da Fig. 2-3 até poderia ser feita, mas tão somente como especulação. Em outras palavras, as imagens mostradas na Fig. 2-4 são insuficientes para que se possa inferir os três sólidos vistos na Fig. 2-3, ratificando o problema fundamental de ver a profundidade: **a imagem no olho tem duas dimensões; logo, ela tem incontáveis interpretações em três dimensões**. Essa capacidade de múltiplas construções mentais do que é observável habilita a mente consciente conceber ambientes físicos novos e, o que é mais relevante, implementá-los quando possível.

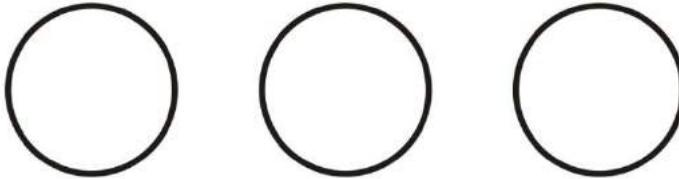


Fig. 2-4: Três sólidos vistos de baixo.

De um mundo observado, somos capazes de criar uma infinidade de outros mundos. A ciência trabalha exatamente desta forma. Veja o caso do sistema solar. Ptolomeu criou o sistema geocêntrico, com epiciclos; Copérnico criou o modelo heliocêntrico, colocando as órbitas dos planetas em torno do Sol como círculos. Kepler concebeu as órbitas dos planetas como elipses. Em cada época, essas criações da mente tiveram o seu valor, caminhando para o que de fato acontece, e não podia ser diretamente percebido. A evolução da astronomia nos conta essa história. Novamente: **e viva mente!**

1.7 Não é fotografia

Todos podemos conceber a lembrança de um lugar como uma fotografia dele guardada em nosso cérebro - ou em nossa retina, como se dizia. No entanto, a fotografia permite examinar mais detalhes do que a lembrança; é que esta contém apenas os aspectos considerados relevantes pela mente; os detalhes restantes são descartados. É como se a mente poupasse espaço na memória, que tudo indica ter natureza associativa.

Gostaria de relatar um acontecimento ocorrido quando tinha quatro ou cinco anos:

Estava sentado na calçada da casa de minha avó Zeca mostrando a outras crianças um anel que ganhara de minha mãe. Passado algum tempo, minha mãe perguntou onde estava o anel. Notei que não estava em meu dedo. Lembrei que o havia tirado para melhor mostrar aos demais. Provavelmente o deixei fora do dedo e quando fui embora devo ter esquecido. Fiquei chocado ao retornar à calçada onde estava e notar que o anel havia sumido. Deu-me uma profunda tristeza, estava muito feliz por tê-lo ganho - esse instante me parece nítido na mente. Já adulto, e conversando com um professor de psicologia, relatei o fato e comentei que minha memória era fotográfica. Ele sorriu e retrucou que não temos memória fotográfica. "Mas como?" – perguntei. Ele, então, me fez uma pergunta: "O que você comeu no almoço nesse dia?". Não soube responder. Se eu tivesse de fato memória fotográfica, certamente teria a resposta. Na verdade, lembro-me tanto do anel do episódio, não por tê-lo fotografado na memória, mas por associá-lo ao sentimento da profunda decepção.

Parece acontecer o mesmo com a construção mental da visão de mundo imediato. Apenas a parte mais relevante é considerada. É uma forma de utilizar melhor o reduzido tamanho do cérebro em relação à altíssima complexidade do mundo. Em compensação, a construção mental pode conter objetos 3D (em três dimensões: largura, altura e profundidade), ao contrário da fotografia, onde há apenas objetos em duas dimensões (2D: largura e altura). O livro de Hoffman (2000), escrito em linguagem didática, traz explicações detalhadas sobre como a mente constrói objeto em três dimensões a partir de uma imagem plana, que é a única forma que os olhos conseguem captar.

Talvez você tenha lido, quando criança (ou mesmo depois), o livro **O Pequeno Príncipe**, de Antoine de Saint-Exupéry (2010) - o arrojado piloto pioneiro que costumava pousar no Campeche, Florianópolis, aqui perto de onde moro. Ao mostrar um de seus desenhos a um adulto, o protagonista (um menino) perguntou-lhe se tinha medo do desenho, ao que o adulto respondeu perguntando por

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

que deveria ter medo de um chapéu. Como ele tinha desenhado uma jiboia que havia engolido um elefante, mostrou ao adulto outro de seus desenhos, em que a jiboia era transparente, e repetiu a pergunta. O autor escreve que o adulto aconselhou a criança a abandonar os desenhos de jiboias abertas e fechadas e se dedicasse à história, geografia, etc., cortando o barato da criatividade da criança. Duas interpretações diferentes foram construídas nas duas mentes - uma na criança e outra no adulto desmancha-prazeres. Realmente, é grande o número de interpretações possíveis de uma mesma imagem plana.

Antes de dormir, meus filhos ainda pequenos gostavam de olhar para o teto de seu quarto para ver as *estrelas do céu*. Eu e minha mulher coláramos, no teto, adesivos fosforescentes que brilhavam imitando **um céu estrelado** ao apagar a luz do quarto. Apesar de saberem que, de fato não eram as estrelas, mesmo assim as construía mentalmente. Tanto a jiboia de Exupéry quanto as estrelas de meus filhos estão longe de serem fotografias; são construções mentais humanas. Ao ver uma paisagem em uma fotografia, qualquer pessoa é capaz de construí-la mentalmente. Mas sua construção é diferente da de qualquer outra pessoa exposta à mesma imagem: asseguro que **os céus construídos (na mente) por Juliana e Rafael, meus filhos, não eram os mesmos**.

Akio Morita (1986) conta, em seu livro **Made in Japan**, que no começo da década de 1950 a Sony comprou o direito de construir aparelhos eletrônicos utilizando a tecnologia de transistores, criada poucos anos antes. Conta, também, que contratava qualquer engenheiro japonês desempregado, num esforço para reconstruir o país no pós-guerra e recuperar a autoestima de seu povo - o que deu certo, como se sabe, e é sempre boa lição. Certo dia encomendou à equipe de engenheiros o desenvolvimento de um pequeno rádio transistorizado de pilha. Por se tratar de inovação, era de se esperar que a equipe demorasse a apresentar o projeto a seu chefe, o que de fato aconteceu. Incomodado com a demora, perguntou se não sabiam construir o equipamento solicitado. A equipe respondeu que o

problema não era construir o radio de pilha, pois sabiam fazê-lo, mas com que tamanho, já que a especificação fornecida por ele era tão somente "pequeno". Imediatamente, Morita pegou uma carteira de cigarros que estava em seu bolso e a colocou em cima da mesa, dizendo: **é deste tamanho!** Mais ainda, colocou-a de volta no bolso da camisa dizendo que **deveria caber naquele bolso**, para que todos os trabalhadores da Sony pudessem usá-lo. Pouco tempo depois o protótipo estava na mesa de Morita. Um pouquinho maior do que o chefe havia pedido, é verdade, pois não cabia no bolso do uniforme de seus funcionários. Morita mandou confeccionar novos uniformes com bolsos maiores para que seu desejo pudesse ser realizado: **todos deveriam usá-lo no bolso da camisa.**

A especificação do tamanho do radio à equipe de Morita foi clara: "pequeno". Clara? Longe disso. Cada membro da equipe construiu mentalmente seu próprio tamanho de protótipo. E devem ter discutido bastante até chegar à conclusão de que sozinhos não poderiam dar conta do pedido do chefe. Como se sabe, a obediência pesa muito na cultura japonesa. Bastou uma especificação um pouco mais detalhada para o trabalho ser concluído rapidamente pela equipe. A visão de mundo (no caso, o radio, que nem sequer existia, mas que já podia ser construída mentalmente) individual teve que ser modificada em cada membro da equipe, de tal sorte a obter-se a tão sonhada visão de mundo coletiva (a qual resultou no projeto acabado). Só depois do protótipo pronto é que fotografias do radio puderam ser feitas. Definitivamente, as visões individuais e a coletiva não constituíram fotografia alguma.

Hoffman (2000, p. X e XI) explica o que, para ele, seja a conclusão mais surpreendente da pesquisa sobre a visão.

A visão não é meramente um produto da percepção passiva, ela é um processo inteligente de construção ativa. O que você vê é, invariavelmente, aquilo que sua inteligência visual constrói. Tal como os cientistas constroem inteligentemente teorias úteis baseadas em evidências experimentais, nosso sistema visual constrói de forma inteligente mundos visuais com base em imagens dos olhos. A principal diferença é que as

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

construções dos cientistas são feitas conscientemente, mas aquelas da inteligência visual são feitas, em sua maior parte, inconscientemente.

O fato de a visão ser um processo inteligente de construção ativa é mais uma evidência de que a visão de mundo (que se obtém não apenas com os olhos mas com todos os sentidos, seguido de reflexões) é dinâmica. As mudanças da visão de mundo ocorrem em face da reflexão continuada provocada por dados novos, oriundos dos sentidos humanos ou, simplesmente, resultantes de reflexões sobre o que havia sido previamente construído. A grande variedade de mudanças na visão de mundo (por dados novos e/ou por reflexões), que não deixa de ser sua atualização, caracteriza a natureza dinâmica da visão de mundo. Sem essa dinamicidade o instinto de sobrevivência correria sérios riscos.

1.8 Abstração, Inferência

O dicionário Novo Aurélio nos dá explicações para os verbetes **abstração** e **inferência** (FERREIRA, 2009).

Abstração

Ato de separar mentalmente um ou mais elementos de uma totalidade complexa (coisa, representação, fato), os quais só mentalmente podem subsistir fora dessa totalidade.

Inferência

Ato ou efeito de inferir; indução, conclusão, ilação.

A mente humana está adaptada para realizar tanto abstração quanto inferência. Na abstração, a mente é capaz de separar elementos relevantes (no julgamento individual) para a construção da visão de mundo. A inferência pode extrair conclusões a respeito da construção mental para posterior reflexão sobre a visão de mundo decorrente. Essas duas capacidades da mente humana a tornam uma poderosa ferramenta altamente útil para sua sobrevivência.



Fig. 2-5 Foto instantânea de uma rua em bairro residencial

Uma fotografia, Fig. 2-5, mostra um trecho de rua em um bairro residencial. Na foto, nossa capacidade de abstração pode identificar um carro; um trecho de rua; a entrada de uma casa ou um condomínio em um plano posterior ao plano do carro; uma calçada na frente de um jardim em um plano anterior ao do carro; e parte de uma árvore desfolhada. A **abstração** foi capaz de separar alguns elementos de uma complexa totalidade, levando à construção de uma imagem mental (visão de mundo) que, evidentemente, é bem diferente do mundo real existente no instante de tempo em que a foto foi tirada.



Fig. 2-6 Foto tirada instantes depois

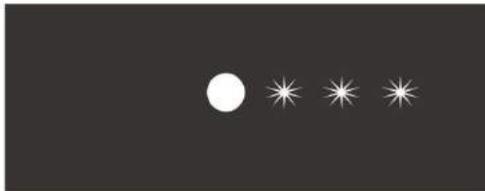
Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Uma possível inferência é que o carro devia estar em movimento no exato momento da obtenção da fotografia. Outra é que o ele poderia estar parado. São duas inferências contraditórias. A reflexão ajudaria a resolver tal contradição. Senão, vejamos: (a) se o carro estivesse parado, provavelmente haveria alguém próximo, esperando por socorro, ou alguma sinalização (triângulo de trânsito) a indicar o problema, o que não ocorre; (b) o carro está na rua, afastado do meio-fio e não rente à calçada. O mais provável é que estivesse em movimento mesmo, coisa que tomamos (sem certeza) como verdade até evidência em contrário.

Tomemos outra foto, Fig. 2.6, junto com a informação de que esta segunda foto foi tirada do mesmo lugar e mesmo ângulo e em sequência à primeira. Poucas coisas mudaram em relação à foto da Fig. 2.5, além da posição do carro. Com base nesta nova evidência, é possível afirmar que se trata de um carro em movimento mesmo. A segunda foto provocou uma atualização da visão de mundo que decorreu da primeira. E foi justamente essa atualização que permitiu eliminar a dúvida que restou da contemplação da primeira foto.



Desenho de Galileu - 7 de janeiro de 1610



Desenho de Galileu - 8 de janeiro de 1610

Fig. 2-7 Desenho de Júpiter e satélites, similar aos de Galileu feitos em 7 e 8 de janeiro de 1610.

Outra inferência possível tem grande chance de estar correta: a árvore desfolhada está plantada no jardim mais próximo da câmera. Mas pode não estar. As duas fotos mostradas nas figuras não trazem informações adicionais que possam oferecer evidências para resolver esta contradição. A decisão de aceitar uma ou outra das duas inferências possíveis cabe ao observador.

Quando Galileu Galilei, (1987, p. 56-57) aperfeiçoou seu telescópio usou-o para observações astronômicas da Lua, de algumas constelações, dos planetas e da parte leitosa da Via Láctea. Da Lua, descobriu que suas manchas eram crateras; na Via Láctea constatou que a mancha leitosa eram estrelas não observáveis a olho nú. Como um dos pais da ciência moderna, anotava todas as observações que fazia dos astros. No dia 7 de janeiro de 1610, "na primeira hora da noite, enquanto contemplava com o óculo² os astros celestes, apareceu Júpiter". O próprio Galileu descreve sua observação ao se deparar com a imagem "mais de perto" do maior planeta de nosso sistema solar.

Dispondo então de um instrumento excelente, percebi (coisa que antes não me havia acontecido em absoluto pela debilidade do outro aparelho) que o acompanhavam três estrelinhas, pequeninas, ainda que claríssimas, as quais por mais que considerasse que eram do número das fixas, me produziram certa admiração, pois pareciam dispostas exatamente em linha reta paralela à eclíptica, e também mais brilhantes que as outras de magnitude parecida.³

A anotação que fez da observação de Júpiter do dia 7 de janeiro, de maneira aproximada, é ilustrada na parte superior da Fig. 2.7. Continua Galileu (1987, p. 57),

Isto é, havia duas estrelas do lado oriental e somente uma para o ocaso. (...) Muito pouco me preocupei com a distância entre elas e Júpiter, pois as considerei fixas, como disse no princípio. Não sei bem por que (sic), mas

² Era como galileu se referia à sua luneta.

³ A identificação **estrela = luz cintilante**; **luz fixa = planeta** não existia no contexto desse registro.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

tendo voltado a contemplá-las no oitavo dia observei uma disposição bem diferente, pois as estrelas estavam todas as três ocidentais, mais próximas entre si e a Júpiter que na noite anterior e mutuamente separadas por semelhantes distâncias [...].

A anotação que fez da observação de Júpiter do dia 8 de janeiro, aqui representada de maneira aproximada, é ilustrada na parte inferior da Fig. 2.7. Importante lembrar que Galileu não usou a palavra satélite, que só mais tarde "seria cunhada por Kepler", como diz Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, no prefácio da edição brasileira de "A Mensagem das Estrelas" (GALILEI, 1987).

A observação diária de Galileu somada às reflexões dela decorrentes, levou-o a duas hipóteses contraditórias: (a) a mudança de posição das estrelas relativa a Júpiter deveria ser atribuída apenas ao movimento deste, ou (b) tal mudança de posição deveria decorrer do movimento das estrelas. Como Galileu já sabia que a primeira hipótese não era viável, dado que a trajetória de Júpiter já era bem conhecida, restava a segunda, ou seja, eram as estrelas que se movimentavam em torno de Júpiter.

Mas isso traria um grande problema; como poderiam estrelas tão distantes se movimentar tão rapidamente em torno de um planeta? Galileu concluiu que não se tratavam de estrelas, mas de corpos celestes em órbita do planeta gigante de nosso sistema solar. Nas palavras do próprio Galileu (1987, p. 58),

Desta forma, pus fora de toda dúvida que no céu havia três estrelas errantes em torno de Júpiter à maneira de Vênus e Mercúrio em torno do Sol, coisa que se viu mais clara que a luz do meio-dia em outras múltiplas observações. E não só três, mas certamente são quatro os astros errantes em torno de Júpiter [...].

O fascículo Galileu da coleção Gênios da Ciência também traz o texto, em que o mestre detalha o que observou (SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, p. 49-50). Dessas reflexões veio a inferência de que Júpiter tinha luas em sua órbita, o que foi comprovado mais tarde por ele mesmo.

Logo após a descoberta das luas de Júpiter por Galileu, iniciou-se uma verdadeira corrida para a observá-las em diferentes lugares da Europa. Os telescópios continuaram a ser aperfeiçoados, e melhores observações puderam ser feitas. O astrônomo Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), homenageado com seu nome a uma das naves espaciais da NASA, elaborou tabelas (efemérides) dos eclipses das luas de Júpiter. Baseado nessas tabelas, os astrônomos puderam fazer observações mais objetivas desses fenômenos. Um desses astrônomos, Olaus Roemer, comunicou em 1675 sua descoberta mais conhecida: a luz, ao contrário do que se achava na época, tinha velocidade finita. Mais ainda, realizou o primeiro cálculo de seu valor: cerca de 220.000 km/s (o valor moderno se aproxima dos 300.000 km/s). Foi um feito extraordinário, considerando-se a qualidade primitiva de equipamentos de medição da época em relação aos meios modernos.

Roemer observava os eclipses das luas de Júpiter baseando-se nas tabelas de Cassini, que utilizava as Leis de Kepler para cálculo de suas órbitas. Observações sucessivas dos eclipses levaram-no a descobrir atrasos ou avanços no tempo desses eclipses, quando a Terra se afastava ou se aproximava de Júpiter. Não querendo duvidar das tabelas de Cassini, supôs que o atraso se devesse ao tempo que a luz, emitida pela lua de Júpiter, levava para chegar até a Terra. Como na época, e até pelo trabalho de Kepler, já se conheciam meios de calcular a distância entre a Terra e Júpiter, Roemer conseguiu realizar o cálculo. Galileu também tentou medir a velocidade da luz; seu insucesso deveu-se ao fato de usar distâncias terrestres, ao contrário de Roemer, que utilizou distâncias astronômicas (entre a Terra e Júpiter).

Em resumo, não é tão difícil explicitar a visão de mundo a partir de nosso ponto de vista. A dificuldade reside em fazê-lo a partir de um ponto de vista que não seja o nosso ou um único nosso (teríamos que imaginar estar em outra posição que não a nossa atual). Ao olhar para o céu, não parece que a Terra gira em torno do Sol, pois tudo roda sobre nossas cabeças. É necessário ter-se mais

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

"ingredientes" para concluir-se tal fato, com uma boa dose de abstração para que se possa fazer uma inferência factível. Não admira que o ser humano levasse tanto tempo para concluir (em definitivo) que o sistema solar é heliocêntrico (os planetas giram em torno do Sol) e não geocêntrico (todos girando em torno da Terra). **Observação, abstração e inferência, sem dúvida, fazem toda a diferença no processo de criação do conhecimento.**

1.9 Composição Mental de Movimento

Assim como a visão, **a composição mental de movimento é um processo inteligente de construção ativa.** Uma evidência extremamente simples de ilustrá-lo é a tecnologia de animação, se pensarmos nela como uma evolução da história em quadrinhos (da Turma da Mônica, por exemplo), HQ. Dependendo do custo e do requinte técnico, os quadros podem ser percebidos um-a-um; no entanto, a história contada em um HQ, um desenho animado ou gif animado da Internet é perfeitamente compreendido.



Fig. 2-8: Ilustração de desenho animado; a sequência deve ser vista no sentido horário.

Você mesmo pode realizar um experimento em casa, como o descrito a seguir. Na Fig. 2.8 vê-se uma elipse desenhada quatro vezes em posições diferentes. Faça um desenho similar em uma tira de papel. Em seguida, recorte os quatro quadrados contendo as mesmas e empilhe-os no sentido horário. Agora fixe com os dedos polegar e indicador no lado esquerdo o monte de quatro quadrados. Com a mão direita folheie-os observando as elipses contidas nos mesmos; deverá ver uma só elipse se movendo no sentido horário. Quanto maior a quantidade de quadrados com posições diferentes da elipse (8 ou 16, ao invés de 4), mais realista vai ficando o movimento construído pela sua mente.

Na verdade o que os seus olhos captam é tão somente os desenhos (quadros) passando na sequência estabelecida; sua mente compõe o movimento que você acha que está vendo. A capacidade mental de compor e prever movimentos é utilíssima para a sobrevivência da espécie por permitir ao homem (e a outros animais) antecipar-se a perigos potenciais e tomar decisões corretas, como fugir de predadores ou adiantar-se ao trajeto de presas.

Pelo fato de o movimento ser uma construção mental, precisa-se apenas de alguns quadros. A mente se encarrega do resto. É por essa razão que o olho não acompanha um objeto em movimento continuamente, mas sim “aos saltos”. Você poderia testá-lo quando assistir a uma corrida de carros, por exemplo, a partir da arquibancada. Ou mesmo ao voo de um pássaro à sua frente.

Antes de concluir este capítulo, gostaria de convidar o leitor a visitar o site de Suzana Herculano-Houzel, denominado **O Cérebro Nosso de Cada Dia** e, neste mesmo site, ler o artigo denominado **Para que lado a bailarina gira?** (HERCULANO-HOUZEL, 2010). Nele, a autora discute um pouco sobre a composição de movimento pelo cérebro.

O cinema foi desenvolvido explorando exatamente esta capacidade de pressupor o movimento: a cena a que você assiste na projeção de um filme nada mais é do que uma sequência de quadros

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

ou *fotogramas* sequenciados em velocidade constante (convencionalmente 24 quadros por segundo).

Algo parecido ocorre na televisão, mas com algum acréscimo de complexidade; é que o cérebro do observador não apenas constrói o movimento a partir de imagens expostas em sucessão, mas também constrói o espaço contínuo a partir de muitos pontos fixos na tela.

No televisor de válvula, desses antigos, a imagem resulta de disparos de elétrons por um canhão eletrônico situado no bulbo do tubo de raios catódicos. Esses disparos traçam no anteparo da tela linhas horizontais, como se redigissem uma mensagem, do canto esquerdo superior ao canto direito inferior da tela; e retornam, em sentido contrário (da direita para a esquerda, de baixo para cima), preenchendo as entrelinhas. O quadro se completa ao fim desses dois percursos, chamados de varreduras, que se realizam, cada um, em um ciclo da corrente elétrica. Assim, os quadros se sucederão no ritmo de 25 por segundo, se a corrente for de 50 Hz e de 30 por segundo se a corrente for de 60 Hz.⁴

Quando o número de linhas compõe um quadro completo, imediatamente inicia-se a projeção de novo quadro. A coleção densa de pontos luminosos ou pixels é interpretada como imagem contínua; a sucessão de imagens contínuas ilusórias percebe-se como imagem em movimento.

Nos televisores de alta definição, os pontos luminosos (pixels) são gerados por diodos emissores de luz (led) ou obtidos pelo estímulo de gases nobres constrangidos em minúsculas células de painéis de plasma. Observe-se que cada ponto contém uma informação: se **0**, o olho verá sombra total ou não-luz; se **1**, verá luz plena. As gradações de luminosidade da imagem são dadas pelo adensamento maior ou menor dos pontos de luz. O efeito colorido obtém-se pela coexistência de pontos luminosos e escuros de três

⁴ A sigla Hz (abreviação de Hertz, é uma homenagem a Heinrich Rudolf Hertz que, em 1886, conseguiu detectar as ondas eletromagnéticas previstas nas Equações de Maxwell vinte anos antes) indica a frequência da rede elétrica. 1 Hz equivale a 1 c/s (ciclo por segundo).

cores fundamentais (vermelha, azul e verde), a partir das quais a mente do espectador perceberá as outras cores.

Espantosa é a mente, tanto do espectador quando da comunidade humana que, refletindo, construiu aparelhos tão complexos.

E olhe que a mente humana pode muito mais ainda. Um sistema, por exemplo, é uma construção mental, isto é, é uma abstração. E sistemas configuram o principal foco deste texto.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

2 EVOLUÇÃO DA VISÃO DE MUNDO

Desde que os homens e as mulheres aprenderam a fazer filhos tentaram, na maioria das vezes sem sucesso, adquirir o domínio sobre sua descendência (...). Paralelamente, os homens adquiriram muito cedo, sobre o ser vivo animal e vegetal, um domínio de fabricação bem mais eficaz do que sobre sua própria descendência, graças às técnicas de agricultura, de domesticação e de criação de animais.

Henri Atlan (2000)

O ser humano foi capaz de produzir duas revoluções de repercussão fantástica. A primeira, ocorrida há cerca de dez mil anos, foi o domínio sobre a reprodução de vegetais e de animais não humanos. A segunda, nos dias de hoje, é o domínio sobre a reprodução humana.

A primeira possibilitou a fixação do ser humano na terra, passando de um caráter nômade (que o fazia mudar-se sempre em busca de alimentos, pois viviam da coleta), para o sedentarismo (possível em face do então conquistado domínio da agricultura e da domesticação e da criação de animais). Já a segunda, devida ao avanço da genética, possibilita examinar (in vitro) o embrião para a prevenção de problemas como anencefalia, síndrome de Down, etc. (ATLAN, 2000). Por milhares de anos, o ser humano foi capaz de desenvolver técnicas para a obtenção de animais e vegetais com características de seu interesse específico, como gado leiteiro e frutas sem caroços, por exemplo. Mas o domínio sobre a reprodução de sua própria espécie apenas foi viabilizada com a genética e a tecnologia que lhe dá suporte. Evidentemente, essas duas revoluções permitem intervenções sobre o próprio mundo, na busca de qualidade de vida cada vez melhor (nem sempre alcançada, claro) e com enorme influência no destino da humanidade.

Marcelo Gleiser (2010, p. 24 -25), discorrendo sobre o conhecimento humano atual (neste começo de século XXI), nos ensina que, apesar de nossa insignificância humana frente à

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

grandiosidade do Universo, somos, até que novos conhecimentos nos tragam nova luz, os únicos seres capazes de refletir sobre a existência e sobre o próprio Universo: "Descontando a possível existência de outros seres capazes de teorizar sobre a vida e a morte, nós – acidentes imperfeitos da criação – somos como o Universo reflete sobre si mesmo. Em outras palavras, somos a consciência do cosmo".

Humanos, podemos nos considerar felizardos pela capacidade de observação/reflexão sobre as coisas do mundo e, simultaneamente, nos julgar responsáveis pela proteção de todos os demais seres vivos em nosso único *habitat*, que é o planeta Terra. O ser humano moderno habita nosso planeta há, pelo menos, cem mil anos, mas a clareza quanto sua escassez de recursos e a necessidade de preservá-los apenas tomou dimensões globais na segunda metade do século XX. Como diz Leonardo Boff, teólogo e ambientalista, "não somos donos da Terra, apenas a tomamos emprestada das gerações futuras", e isso só faz aumentar nossa responsabilidade. E é com essa responsabilidade e com a capacidade ímpar (dentre os demais seres vivos) de compreender a vida que precisamos ter uma ideia da evolução da visão humana do mundo.

É necessário dizer-se que é possível conhecer a evolução da visão de mundo pelo fato de nossos ancestrais nos terem legado registros documentais (inscrições rupestres, pergaminhos, etc.). A síntese aqui apresentada tem proposições didáticas para estudos interdisciplinares, com leitura adicional recomendável. Para facilitar tal exposição, neste capítulo será feita uma divisão (um pouco arbitrária, claro) em Eras (ou paradigmas) de visão de mundo (coletiva) dominante, agrupando-as em quatro grandes blocos, a saber:

- **Edifício Pré-Científico**, que vai desde os primórdios até o final do paradigma escolástico, que coincide com o fim da Idade Média;
- **Construção da Ciência Moderna**, que começa com o florescer do Renascimento até o final da Segunda Guerra Mundial;

- **Interdisciplinaridade na Ciência**, do Pós-Guerra até o advento do computador pessoal (começo dos anos 1980),
- **Explosão Científico-Tecnológica**, do início dos anos 1980 até a primeira década do século XXI. Ou seja, uma pequena viagem no tempo que nos ajuda a compreender a trajetória humana entre as duas revoluções citadas no início deste capítulo.

Nunca é demais repetir que esta é uma divisão arbitrária, criada com a única intenção de fazer um resumo da evolução da visão humana de mundo para facilitar a explanação a que se propõe este texto.

2.1 Edifício Pré-Científico

O céu noturno, provavelmente, foi (e ainda é) um dos mais belos espetáculos que a natureza nos presentearia. Não é difícil imaginar como ele tenha fascinado nossos ancestrais. A observação humana desta beleza nos primórdios da espécie humana a fez descobrir certas regularidades, como a periodicidade do Sol (diária) e da Lua (quase mensal), além dos planetas. A busca de explicações para, não apenas tal beleza, mas principalmente as regularidades observadas deve ter inundado a mente humana com construções mentais (visões de mundo) as mais variadas.

A ciência já dispõe de evidências suficientes para afirmar que há cem mil anos o homem moderno já existia e, com ele, toda a sua estrutura cognitiva hoje observada (MAYR, 2005). Não é difícil imaginar o quanto a observação do mundo que cercava o homem moderno foi importante para sua sobrevivência (posto que sujeito a predadores e intempéries) e o quanto lhe valeu no aprendizado de como orientar suas migrações ou, posteriormente, como desenvolver técnicas de manejo agrícola e pastoril.

Da mesma forma, a capacidade de observação foi instrumento e estímulo para o conhecimento cada vez maior do mundo em que o homem estava inserido. "Foi olhando e refletindo que o ser humano

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

partiu do arrasto à roda (exceto em culturas de montanhas íngremes, onde ela seria inútil); do fogo preservado ao fogo produzido; de uma espiga minúscula ao milho; da fera e da caça ao animal doméstico; da capoeira às fantásticas plantações em curvas de nível que circundam as montanhas andinas, no limite da altitude suportável pelo organismo, preservando a humidade por até dez meses de seca. Foi observando e refletindo, tanto quanto caminhando, que o homem (a espécie - homens e mulheres, claro) partiu do calor da Ásia para o gelo do Ártico, mudando hábitos, trajes, comidas, lendas, valores, utensílios, em um processo de adaptação que explica a História tanto quanto, em Biologia, em que o processo de adaptação equivalente define a complexidade da vida"⁵.

Mitologia

Além das necessidades mais imediatas, a observação permitia ao ser humano, desde o início, refletir sobre seu mundo e sua existência. A contemplação do céu noturno o permitiu, em algum momento da existência da espécie, verificar certas regularidades do movimento dos astros - sol, lua, estrelas. "Vácuos de conhecimento são inaceitáveis ao espírito humano, daí a necessidade de explicação de tais regularidades. Surgiram os mitos que atribuíam a inteligência dos fenômenos a entidades imanentes aos objetos e, mais tarde, a sistemas hierárquicos divinos similares a diferentes organizações que as sociedades foram assumindo"⁶. Essa forma de explicação, adequada a uma época em que o conhecimento circulava em versão oral, na forma de lendas e cantos, perdurou até cerca de 500 anos AC, traduzida nas chamadas mitologias (grega, egípcia, etc.). Com o grego Sócrates, nova forma de explicação veio à tona. O conhecimento abstrato ocidental que se acumulara até então é conhecido como filosofia pré-socrática.

⁵ Contribuição do Prof. Dr. Nilson Lemos Lage.

⁶ Contribuição do Prof. Dr. Nilson Lemos Lage.

Escolástica

Sócrates e seus seguidores imediatos - Platão e Aristóteles - estabeleceram um padrão de reflexão sobre o mundo observado que chega aos dias atuais. Este padrão de reflexão foi capaz de criar a visão de mundo, conhecida como Paradigma Escolástico, que permaneceu dominante por quase dois mil anos, quando foi substituído pelo Paradigma do Renascimento. Apesar das sucessivas quebras de paradigmas propostas como sucessoras do Escolástico, o padrão de reflexão da filosofia socrática permanece praticamente intacto até hoje.

Sobre o paradigma escolástico, escreve Lars Skyttner (1996, p. 4),

Ainda que este paradigma possa ser caracterizado como pré-científico, ele foi uma filosofia completa tecendo conjuntamente sistemas morais e espirituais com sistemas físicos e mundanos, criando uma entidade. Este amálgama era baseado nas seguintes proposições:

- 2** A natureza era viva e então mortal, vulnerável e finita.
- 3** O universo e a natureza do tempo eram passíveis de entendimento.
- 4** A salvação da alma era o desafio mais importante.
- 5** As ciências naturais eram subordinadas à teologia.
- 6** O objetivo da ciência era mostrar a correlação entre a verdade do mundo e a verdade espiritual.
- 7** O conhecimento era de natureza enciclopédica, classificada e catalogada.
- 8** A estrutura da sociedade era influenciada pelo céu e refletia uma ordem divina. [...].

O desenvolvimento científico era então reconhecido apenas quando suportava religião. O método com o qual se explicavam as complexidades dos fenômenos era discernimento ou revelação; curiosidade era tida como pecado. Observação, experimentação e conclusões objetivas eram desencorajadas. A natureza era vista como um organismo criado por Deus [...].

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Skyttner (1996, p. 6) afirma que pode ser erro considerar o paradigma escolástico como uma visão de mundo primitiva, apesar do misticismo que o envolvia, "A aparente existência austera era abundantemente compensada por uma rica vida mental e uma busca incessante por imaginação espiritual". E foi neste caldo de cultura escolástico que surgiram os primeiros alicerces que permitiram a construção do edifício científico. O legado de Sócrates e seguidores (Platão e Aristóteles, em especial) permitiu avanços fantásticos. Algumas dessas conquistas humanas, cujos registros chegaram até os nossos dias, merecem destaque, na minha opinião, e serão resumidas aqui.

A primeira é o trabalho de **Euclides** (que viveu entre 330 a.C. e 260 a.C.), o primeiro grande geômetra e ainda considerado como o maior matemático da história humana. Tem-se notícia de sua produção abundante, mas apenas pequena parte chegou até nossos dias. Seus "treze livros" são compilados em um único volume chamado "Os Elementos", que recebeu uma bela tradução para o Português do Brasil pela Editora UNESP (Euclides, 2009). A forma de apresentação de seu texto também inaugurou o método usado na demonstração matemática. Por exemplo, O Livro I começa com "Definições" (Euclides, 2009, p. 97):

1. Ponto é aquilo de que nada é parte.
2. E linha é comprimento sem largura.
3. E extremidades de uma linha são pontos.

[...]

Em seguida, "Postulados" e "Noções comuns". Só então inicia suas demonstrações, como a primeira, chamada "Construir um triângulo equilátero sobre a reta limitada dada".

Arquimedes (287 A.C. – 212 A.C.) aplicava suas demonstrações em problemas práticos, como é o caso do sistema de bombeamento de água, conhecido como "Parafuso de Arquimedes" ou a fantástica aplicação na engenharia naval do Princípio de Archimedes, que estabelece relação funcional entre o empuxo que

sustenta um objeto mergulhado e o peso do volume de líquido deslocado por ele, etc. Com a intenção de calcular a área de figuras geométricas irregulares, Arquimedes acabou por criar o cálculo integral. Colocava retângulos de bases bem pequenas (um colado no outro até preencher toda a área da figura) e calculava a área (base vezes altura) de cada um deles. Somando as áreas de todos os retângulos obtinha a área aproximada da figura em questão. Quanto menor a base de cada retângulo, maior a aproximação com a área total. Mais um exemplo de sua genialidade.

Conta-se que Arquimedes desenvolveu estudos práticos sobre Ótica, o que lhe permitiu queimar as velas dos navios inimigos prestes a atacar sua cidade, Siracusa, com a ajuda de espelhos refletores da luz do sol concentrados nas velas. Qualquer criança hoje consegue algo similar com uma folha de papel e uma lente de aumento: basta dirigir a luz do sol após atravessar a lente para uma folha de papel. Conta-se, também, que conseguiu puxar um navio sozinho com a ajuda de um sistema de roldanas para amplificar sua força. Da mesma forma, suas experiências com alavancas o levaram a proclamar a frase perpetuada no testemunho de Pappus de Alexandria: "Deem-me uma alavanca e moverei o mundo".

Ptolomeu (aprox. 100 D.C.-178 D.C.) talvez seja mais conhecido pelo modelo do sistema solar em que todos os astros giram em torno da Terra: de fato, em seu trabalho conhecido como *Almagesto* (PTOLOMEU, 1952), ele elabora sofisticado modelo geocêntrico. No entanto, ele conhecia modelos heliocêntricos, como o de Aristarcos de Samos, bem como os estudos de eminentes astrônomos da época como seu mestre Hiparcos.

Não parecia relevante a Ptolomeu a escolha entre geocentrismo e heliocentrismo (em que os astros giram em torno do Sol): o que lhe interessava era o movimento dos astros da perspectiva de quem os vê da Terra, que é onde estavam e estariam todos os leitores de seus escritos. Pretendia, assim, e conseguiu traçar mapas celestes de grande aplicação na prática humana, particularmente na navegação. Sua postura corresponde a uma concepção que seria

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

sintetizada pelo filósofo renascentista Nicolau de Cusa (1401-1464), em seu livro *Da douta ignorância*: "O centro do universo é o lugar onde está o observador" (NICOLAU, 2003).⁷ Ptolomeu, certamente, levou em conta este fato ao construir mapas celestes para serem lidos pelo observador.

Para resolver problemas do modelo geocêntrico, como o movimento retrógrado de alguns planetas (é como se em alguns momentos o planeta volta e depois continua em sua trajetória orbital - é por essa razão que são chamados de planetas, ou seja, **errantes**, como Júpiter), Ptolomeu elaborou um modelo geométrico genial: fazia o planeta girar em um pequeno círculo (que ele denominou epiciclo) cujo centro (este sim) girava em torno da Terra. Graças a esse artifício, do ponto de vista de modelo matemático, o movimento desses astros coincide com o que teriam em um modelo heliocêntrico. Então, por que se preocupar com a futilidade da discussão sobre o que estaria no centro do Universo? Por que haveria ele de contrapor ao que, na interpretação da época, colocavam a Terra como o centro do universo? A visão de mundo geocêntrica, corroborada pela eficácia das cartas que mostravam o céu, ganhou o mundo, e só viria a ser contestada por Copérnico, Kepler e Galileu, já no final do paradigma escolástico e prenúncio do novo paradigma, o do Renascimento.

Renascimento

Skyttner (1996, p. 6) assim introduz o paradigma do Renascimento,

Com a chegada do século XVI o estágio pré-científico é sucedido por um que é reconhecido como capaz de descrever fenômenos, como uma rota para o conhecimento. A própria ciência vem a ser uma fonte para o desenvolvimento de novas tecnologias. Crescente respeito a fatos testados em experimentos válidos e uma proficiência na comunicação do

⁷ Contribuição do Prof. Dr. Nilson Lemos Lage.

conhecimento e opiniões emergem. Explicações teológicas de regularidades observadas em ambiente humano [...], tidas antes como norma para vários fenômenos, são gradualmente abandonados.

Este caldo de cultura permitiu a emergência de seres humanos notáveis que iniciaram o processo de criação da ciência moderna. Para citar alguns, além dos já mencionados, Tycho Brahe, Descartes, Newton, etc. Vale alguns comentários sobre estes pioneiros, sempre esperando que o leitor possa se deliciar com a leitura de seus textos.

Nicolau Copérnico (1473 – 1543) propôs um modelo heliocêntrico (o Sol sendo o centro, em torno do qual os planetas orbitam), em oposição ao modelo geocêntrico (onde a Terra era o centro), reativando a proposta de Aristarco de Samos, dois milênio antes. O que poderia ser visto, hoje, como uma proposta científica corriqueira, fez estrago na visão de mundo da época. Como seu trabalho foi publicado no final da vida, ele mesmo não sofreu com a reação, particularmente da Igreja. Ao ser publicado na primeira edição, seu livro recebeu um prefácio, à sua revelia, buscando amortecer o impacto que iria causar: sugeria que as ideias ali expostas não passavam de ficção e que tinham apenas o objetivo de permitir o cálculo das trajetórias dos planetas. Copérnico só viu o livro publicado no dia de sua morte.

A estratégia redutora provou-se inútil. Seria questão de tempo a admissão como teoria cientificamente comprovável. Mas, em decorrência da maquilagem desenhada no prefácio, a obra de Copérnico sobreviveu à fúria da Igreja Católica até 1616, quando a incluíram no Index Librorum Prohibitorum, instituído pelo Papa Paulo IV em 1559 e só abolido pelo Papa Paulo VI em 1966.

Como disse a Dra. Dilma Vana Rousseff, que mais tarde viria a ser presidenta do Brasil, em uma comissão do senado, reportando-se ao tempo em que foi prisioneira e submetida a torturas, na década de 1970, **não há diálogo entre o meu pescoço e a força**. Nunca houve.

Copérnico (1990; p. 111-112) faz alusão ao sistema geocêntrico que predominava na visão de mundo de seu tempo,

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Observo que nossos antepassados assumiram um grande número de orbes celestes principalmente para explicar o movimento aparente dos planetas de acordo com o princípio da regularidade. Pois lhes parecia verdadeiro que um corpo celeste absolutamente redondo não se movimentasse sempre uniformemente. (...) Portanto, pareceu mais adequada a opinião de que isto se faz por excêntricos e epiciclos, com o que concorda a maior parte dos estudiosos. Todavia, aquilo que foi transmitido por Ptolomeu e muitos outros aqui e ali sobre isso, embora correspondesse aos dados numéricos, também parecia produzir dúvidas que não eram pequenas. (...) Tendo enfrentado um problema tão difícil e quase insolúvel, veio-me enfim [à mente] o modo de resolvê-lo com elementos mais simples e muito mais convenientes do que os precedentes, se forem admitidas algumas exigências, chamadas axiomas, que se seguem nesta ordem.

Primeira exigência

Não existe um único centro de todos os orbes ou esferas celestes.

Segunda exigência

O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

Terceira exigência

Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol.

Quarta exigência

A razão entre a distância do Sol à Terra e a altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento.

Quinta exigência

Qualquer movimento aparente no firmamento, não pertence a ele, mas a Terra. Assim a Terra, com os elementos adjacentes, gira em torno dos seus polos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu.

Sexta exigência

Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele, mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos.

Sétima exigência

Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles, mas à Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no céu.

Note-se que na sétima exigência Copérnico afirma que no modelo heliocêntrico, ao contrário do geocêntrico, o movimento

retrógrado dos planetas são explicados sem a necessidade de uso de epiciclos. A inserção deste trecho de Copérnico aqui foi proposital. De um lado pelo fato de ser rara a literatura sobre seus textos traduzidos para a língua portuguesa, de outro pelo fato de o tradutor, além de comentar a obra deste gênio da ciência, apresenta notas explicativas sobre os termos usados na época. Recomenda-se fortemente a leitura do referido livro.

Tycho Brahe (1546 - 1601) compilou dados astronômicos extraordinários. Para isso, desenvolveu métodos de observação e registro das posições e movimentos dos astros celestes, criando o maior banco de dados sobre o cosmo jamais obtido, até então, pelo ser humano. Guardava seu banco de dados a sete chaves. Apesar de ter convidado Kepler a trabalhar como seu assistente, não o disponibilizava completamente. Só no final da vida concordou em ceder o banco de dados, após sua morte. A família de Brahe continuou essa guerra pela propriedade autoral exclusiva (CONNOR, 2005).

Ronaldo Rogério de Freitas Mourão (2003), autor de um livro sobre Kepler, traça um perfil de Tycho Brahe.

A vida de Tycho Brahe foi marcada por quatro eventos astronômicos, todos decisivos em sua vida. O primeiro foi um eclipse parcial do sol, quando tinha quatorze anos e que muito o estimulou para o estudo da astronomia. O segundo, a conjunção de Júpiter e Saturno, deu-se quando tinha dezessete, e lhe revelou falhas das tabelas astronômicas [...]. O terceiro evento, a supernova descoberta na constelação de Cassiopéia, quando tinha vinte e seis anos, lhe demonstrou ser o céu mutável, em oposição à doutrina básica que limitava a 'corrupção cósmica' à esfera sublunar [...]. O quarto evento foi a passagem do cometa de 1577, quando tinha 31 anos, que lhe permitiu demonstrar que esse astro estava pelo menos seis vezes mais distante da Terra do que a Lua, outro golpe contra as concepções aristotélicas, segundo as quais os cometas estavam situados no mundo sublunar, ou seja, abaixo da Lua.

Vale lembrar que Copérnico, apesar de propor o modelo heliocêntrico, por questões de estética, traçava órbitas circulares para

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

os planetas. Brahe sustentou o mesmo e, em seu leito de morte, chegou a pedir a Kepler que considerasse a hipótese dessa circularidade, o que, evidentemente não foi possível; os dados que se iam acumulando indicavam claramente órbitas elípticas. Seu modelo heliocêntrico, sem dúvida, foi um dos responsáveis pela mudança do paradigma escolástico para o do renascimento.

2.1 Construção da Ciência Moderna

No tempo de Copérnico o que se chamava de Universo era tão somente o nosso sistema solar e a Via Láctea, nossa galáxia; essa delimitação só se ampliou na década de 1920, quando Edwin Hubble (1889-1953) descobriu que o que se chamava de nebulosas eram aglomerados de estrelas (galáxias) bem distantes da nossa via Láctea. O nome de Hubble foi dado ao telescópio espacial posto em órbita da Terra pela agência espacial dos EEUU, com o qual obtiveram-se fotografias de galáxias e planetas jamais disponibilizadas para o público (HUBBLESITE, 2011).

O trabalho de observação e registro de Tycho Brahe, como dito acima, formou o maior repositório de informação astronômica da época. Com essa informação, **Johannes Kepler** (1571-1630) conseguiu estabelecer as chamadas **Três Leis de Kepler**, que determinam as trajetórias das órbitas dos planetas e valem em qualquer lugar do Universo. Kepler teve uma vida bastante atribulada e consumiu seus últimos anos de vida na luta, finalmente bem sucedida, para defender sua mãe da acusação de bruxaria diante dos fanáticos tribunais da Inquisição católica. Essa é uma história bem contada em detalhes por Marcelo Gleiser (2006) no livro que dedicou ao genial renascentista. Stephen Hawking (2005) o classifica como um dos gênios da ciência.

No começo do Século XVII vendiam-se lunetas em férias como curiosidade. **Galileu Galilei** (1564-1642) comprou uma, aperfeiçoou-a e, com ela, realizou descobertas impressionantes, como a das luas de Júpiter, cujas órbitas seriam calculadas pelas Três

Leis de Kepler. É assim, com o cruzamento e incorporação de descobertas empíricas e princípios lógicos, que a ciência avança desde seus primórdios.

Mas Galileu fez outras descobertas espetaculares: constatou, por exemplo, que corpos abandonados no ar chegam ao mesmo tempo ao chão, independente do valor de suas massas (por exemplo, um corpo mais pesado que o outro). Concluiu que este fenômeno se devia à atração gravitacional exercida pela Terra sobre todos os corpos próximos a ela. Usando um plano inclinado, em famoso experimento, mostrou que o movimento do corpo ali colocado podia ser decomposto em dois: um horizontal, que não sofria a ação da aceleração da gravidade, mantendo velocidade constante; e outro, vertical, que aumentava sua velocidade em ritmo também constante.

Muito se fala do processo da Inquisição sofrido por Galileu, e diz-se que sua condenação se deu por conta de sua defesa do sistema heliocêntrico. É fato. Mas essa era acusação menor, como que de um pecado venial, coisa que já não levava à fogueira no entendimento inquisitorial, como no veredicto antes aplicado, em 1600, pelos mesmos tribunais a Giordano Bruno. Havia uma segunda acusação, esta sim, considerada pecado mortal. Tratava-se do mistério da transubstanciação: no século anterior, durante o Concílio de Trento, a Igreja Católica havia determinado que, na eucaristia, a hóstia se transformava no corpo de Cristo e o vinho em Seu sangue, algo que se sustenta até hoje.

Galileu, com base em seus estudos, afirmou que a transformação - ou transubstanciação - não poderia ocorrer, pois tanto a hóstia quanto o vinho não apresentavam mudanças, seja de sabor, de textura, de cor, etc. E isso era inaceitável para a Inquisição. Galileu, amigo do novo papa Urbano VIII (que iniciou seu pontificado em 1623), só escapou da fogueira porque a acusação, foi direcionada "apenas" para a defesa do heliocentrismo, punida "misericordiosamente" com a prisão perpétua domiciliar. Em tempo de fundamentalismo, nem um bom padrinho extingue o absurdo, apenas o torna mais brando.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Quem conta essa história é **Pietro Redondi**, formado em História da Ciência e que teve acesso à biblioteca do Vaticano, aberta por João Paulo II tão logo assumiu seu pontificado por volta de 1980. Quando a igreja percebeu as implicações do que se descobriria, tratou logo de fechá-la. No entanto, Redondi já havia fotocopiado todos os documentos relativos ao processo de Galileu.

Outra informação trazida por Redondi é que o arcebispo Marco Antonio de Dominis, já estava morto há três meses e meio, quando a Inquisição queimou seu corpo na fogueira em 1624 para servir de exemplo. Recomenda-se fortemente a leitura do livro de Redondi, *Galileu Herético* e, nele o relato do caso De Dominis. O autor (REDONDI, 1991; p.121-122) conta que

Não era um homem comum, como se podia ver pelo retrato que o representava e que fora pendurado no púlpito. Era um homem na casa dos sessenta e o quadro o representava vestido de preto, com uma batina na mão. Seu nome, escrito sob sua imagem, era o de um aristocrata e de um alto eclesiástico, porque o acompanhava o título de arcebispo. Mas ele era ainda mais conhecido como teólogo, cientista e intelectual de fama europeia. [...]

Marco Antonio de Dominis, o acusado, estava morto há três meses e meio. O Santo Ofício não estava por condenar um homem, mas seu cadáver que naquele momento esperava a sentença em frente aos juízes, em uma caixa enegrecida de fogueira.

Tal cena de horror apenas materializava ditames no direito processual da Inquisição. Redondi (1991; p. 122), continua,

Segundo o direito processual da Inquisição, quem fosse reconhecido como herético reincidente, diferentemente do herético confesso e penitente, não podia livrar-se da condenação tal como o herético impenitente. Neste caso, pois, a condenação comportava necessariamente o suplício do fogo.

De Dominis, despojado de suas prerrogativas eclesiásticas, foi expulso da Igreja. Seu retrato e seus despojos foram levados até o adro e colocados num carro, juntamente com seus livros teológicos e científicos. A cerimônia, então, desenrolou-se entre duas fileiras de público até o campo dei Fiori, onde a cremação daqueles livros, daquele retrato e do corpo exumado de De Dominis foram o horrível clou final.

Trabalhar nas artes e na ciência em um ambiente assim não pode ser considerado um convescote. E essa foi a realidade encontrada por Copérnico, Kepler, Galileu, Descartes, etc. Ainda assim, a humanidade deve a eles a criação da ciência moderna.

É oportuno que tais fatos sejam rememorados em nossos tempos confusos, em que, mais uma vez, tenta-se submeter à verdade constatável do mundo a dogmas e traduções arcaicas, como se a realidade delas decorresse e não o contrário. A onda atual de obscurantismo fundamentalista - alimentada por interesses, que se julgam ameaçados pela democracia da informação, oriunda do progresso das telecomunicações, pela difusão de bens e serviços às massas populares, e pela transformação, enfim, dos homens em sujeitos de sua história - tem antecedentes que vão além da imaginação dos mestres do terror, de Fritz Lang, Billy Wilder e Robert Siodmak ao nosso doce e folclórico Zé do Caixão (José Mojica Marins).⁸

René Descartes (1596-1650) foi outra mente brilhante que iluminou a construção da ciência moderna. O sistema cartesiano, por exemplo, decorre de seu nome. Trata-se da representação de pontos (linhas, objetos) em sistemas de referência com uma, duas ou três dimensões. Em seu livro, o autor da famosa frase "penso, logo existo", expõe sua contribuição à criação da filosofia moderna, mostrando a forma ou o método que ele usava para raciocinar (DESCARTES, 2005).

No entanto, a mesma frase - "penso, logo existo" - reflete, na tradução portuguesa e também na versão espanhola (a "pienso, existo"), o clima pesado da época e as estratégias eventualmente sutis do fundamentalismo. Descartes escreveu em latim, "cogito, ergo sum" que, ao pé da letra, se traduziria "penso, logo sou": "ser", aí, na tradição da filosofia escolástica era uma referência à essência das coisas, *essere*, dada como divina, em oposição a aparência, dada como mundana. A Península Ibérica, na época, guardava memória

⁸ Contribuição do Prof. Dr. Nilson Lemos Lage.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

recente (e ainda não superada hoje em dia) das batalhas ideológicas dos reis cristãos contra os califados que ocuparam a região por oito séculos; a longa campanha contra a filosofia muçulmana, tecnicamente superior, conduziu a extremo sectarismo. Nesse contexto, o tradutor de Descartes, que certamente temia ser considerado herege, teve a habilidade de substituir "ser" por "existir", forma que corresponde a mostrar-se - ex(h)istere - "ser para fora", "aparecer". A versão conforme o pensamento original persiste em francês: "je pense, donc je suis"; em inglês: "I think, therefore I am"; em alemão: "Ich denke, also bin ich"; etc.⁹

Isaac Newton (1643-1727) é considerado um dos grandes gênios da ciência. Em sua grande obra, o livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Newton (1990), estabelece o principal marco da Física moderna e talvez da ciência toda: Suas três **Leis de Newton** descrevem as relações entre forças que atuam sobre corpos e o movimento relativo entre os mesmos. Seus trabalhos sobre Ótica e a Lei da Gravitação Universal atravessaram os tempos e são válidos até hoje. Ao mostrar que a luz branca é a composição de todas as cores, como se pode ver no arco-íris, antecipou duas visões sobre a natureza da luz - a ondular, imaterial, e a corpuscular, fotônica. Seu telescópio de reflexão permitiu resolver problemas de paralaxe que existiam no telescópio de refração usado por Galileu. Nesse ponto, vale a pena ver um pouco como o mestre tratava seus objetos de pesquisa (NEWTON, 2002; p. 250-251).

Quando fiz as observações precedentes, tinha a intenção de repetir a maioria delas com mais cuidado e exatidão e de fazer algumas novas para determinar a maneira como os raios de luz se curvam ao passar perto dos corpos para produzir as franjas de cores com as linhas escuras entre elas. Mas fui então interrompido e não posso pensar agora em submeter essas coisas a novas considerações. E, como não terminei essa parte do meu projeto, concluirei propondo apenas algumas questões, na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros.

⁹ Contribuição do Prof. Dr. Nilson Lemos Lage.

Questão 1: Os corpos não agem sobre a luz a distância e, por sua ação, não curvam seus raios? E essa ação (coeteris paribus) não é mais forte na distância menor?

Questão 2: [...]

Veja que Newton ainda sentia vontade de continuar a entender melhor o comportamento relativo entre a luz e os corpos. Na questão 1, insatisfeito com o que observara até então, ele indaga sobre a possibilidade de uma ação a distância dos corpos sobre a luz. Pode-se dizer que se tratava de pura especulação; no entanto, mais de duzentos anos depois, Einstein mostrou que os corpos exerciam atração gravitacional sobre a luz. Através da famosa equação ($E = mc^2$) mostrou que massa é uma forma de energia. Tanto a massa quanto a luz, portanto, sofrem os efeitos da gravitação. Ainda que isso só possa ser verificado quando a luz passa próxima a corpos de grande massa, como o Sol, e não com o objeto usado por Newton, um fio de cabelo. Uma frase atribuída a Einstein não deve ser esquecida: **a formulação de um problema é mais importante que sua solução**. Em outras palavras, formular a pergunta representa mais para o conhecimento do que achar respostas.

Esses são apenas alguns dos trabalhos resultantes de reflexões da visão de mundo do renascimento, mas que orientaram a ciência moderna definitivamente. O trabalho desses gênios renascentistas foi tão marcante que deu início a um novo paradigma, denominado **Mecanicismo/Determinismo**.

Mecanicismo e Determinismo

A partir desses e de outros avanços significativos da ciência, pareceu que o Universo funcionava como os ponteiros de um relógio, ou seja, podia ser desvendado e equacionado matematicamente - ainda uma atualização da ordem perfeita do Universo, consistente com o pensamento escolástico. Nesse paradigma foi desenvolvida a máquina a vapor, de James Watt, a unificação da eletricidade com o

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

magnetismo (eletromagnetismo), de James Clerk Maxwell, e outros eventos, e levaram a duas grandes revoluções da era moderna: Revolução Industrial, na Inglaterra e a Revolução Francesa (HOBSBAWN, 2007). A primeira, via liberalismo econômico de Adam Smith, e a segunda com sua projeção política, a democracia representativa. As duas revoluções, na ordem produtiva e na concepção de Estado, mudaram para sempre a civilização no planeta Terra. A revolução industrial inaugurou a produção em grande escala, a Revolução Francesa deu corpo à questão humanitária nessa produção. Hobsbawn explana com a clareza de sempre a importância dessas revoluções.

O paradigma do determinismo reinou soberano desde o final do Século XVII até quase o final do Século XIX, quando o "barco começou a fazer água". Vários foram os fatores que influenciaram na derrocada da sua hegemonia. Um deles foi deflagrado pelas Leis da Termodinâmica (SKYTTNER, 1996):

1ª Lei da Termodinâmica

Num sistema isolado a energia interna permanece constante.

2ª Lei da Termodinâmica

A entropia do Universo aumenta numa transformação espontânea e mantém-se constante numa situação de equilíbrio.

Veja que a segunda lei afirma que a qualidade da energia do Universo tende a se degradar irreversivelmente. Se, por um lado, o Universo funcionava como os **ponteiros de um relógio** como se propalava no paradigma determinista, por outro, a Termodinâmica estava a dizer que o **relógio do mundo iria parar**. Não bastasse essa dificuldade para o determinismo reinante, outra questão, talvez ainda mais séria do ponto de vista de crença religiosa foi a publicação, em 1859, do livro **A Origem das Espécies**, de Charles Darwin (1981; 2003).

O livro de Darwin, que discorre sobre a **Teoria da Evolução via Seleção Natural**, provocou furor nas mentes mais intolerantes de sua época. Foi alvo de ataques sem trégua durante muito tempo e,

ainda hoje, existem os que o criticam. No entanto, a cada dia, surgem mais evidências que a sustentam. Há obras geniais que descrevem sua teoria de forma didática, textos cuja leitura é recomendada (ZIMMER, 2003; Mayr, 2009; DAWKINS, 2009). Vale destacar o último parágrafo do livro de Darwin (2003):

É interessante contemplar um riacho luxuriante, atapetado com numerosas plantas pertencentes a numerosas espécies, abrigando aves que cantam nos ramos, insetos variados que voitam aqui e ali, vermes que rastejam na terra úmida, se se pensar que estas formas tão admiravelmente construídas, tão diferentemente conformadas, e dependentes umas das outras de uma maneira tão complexa, têm sido todas produzidas por leis que atuam em volta de nós. Essas leis, tomadas no seu sentido mais lato, são: a lei do crescimento e reprodução; a lei da hereditariedade que implica quase a lei de reprodução; a lei de variabilidade, resultante da ação direta e indireta das condições de existência, do uso e não uso; a lei da multiplicação das espécies em razão bastante elevada para trazer a luta pela existência, que tem como consequência a seleção natural, que determina a divergência de caracteres, a extinção de formas menos aperfeiçoadas. O resultado direto desta guerra da natureza que se traduz pela fome e pela morte, é, pois, o fato mais admirável que podemos conceber, a saber: a produção de animais superiores. Não há uma verdadeira grandeza nesta forma de considerar a vida, com os seus poderes diversos atribuídos primitivamente pelo Criador a um pequeno número de formas, ou mesmo a uma só? Ora, enquanto que o nosso planeta, obedecendo à lei fixa da gravitação, continua a girar na sua órbita, uma quantidade infinita de belas e admiráveis formas, saídas de um começo tão simples, não têm cessado de se desenvolver e desenvolvem-se ainda!

Darwin confrontou-se em vida com um argumento muito sério contra sua teoria, baseado no cálculo da idade do planeta Terra. A descrição é do livro de Zimmer (2003, p. 106-113).

De todas as objeções que foram levantadas contra Darwin, fossem elas religiosas, biológicas ou geológicas, uma das mais perturbadoras para ele era referente à idade do planeta. (...) William Thomson (mais conhecido como Lord Kelvin) era um dos maiores físicos do mundo quando Darwin publicou "A origem das espécies". (...) Kelvin sabia que os mineiros tinham descoberto que, quanto mais fundo cavavam, mais quente se

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

tornavam as rochas. Para explicar esse calor, Kelvin especulou que a Terra tinha se formado da colisão de planetas em miniatura, e a energia de seus impactos criara uma bolha derretida (uma especulação que mais tarde provou ser verdadeira). Kelvin presumia que uma vez terminados os impactos, não haveria meios de o planeta receber novo calor. Assim, gradualmente, ela esfriaria como uma brasa mortíca. A superfície esfriaria mais rapidamente, enquanto seu interior permaneceria quente até hoje. [...] Quando terminou tinha reduzido a idade do planeta para apenas 20 milhões de anos. E nesse tempo todo Darwin não pode fazer nada exceto trincar os dentes. Enquanto lutava para aperfeiçoar sua teoria da evolução, "lá vinha Sir Thomson como um espectro odioso". [...] Lorde Kelvin baseara seus cálculos da idade da Terra em uma suposição fundamental (que se revelaria falsa): o planeta não tinha uma fonte própria de calor.

A fonte própria de calor foi descoberta **14 anos depois da morte de Darwin**. Era a radioatividade. Refeitos os cálculos, chegou-se à idade da Terra de 4,55 bilhões de anos, o que fazia todo o sentido em favor da teoria de Darwin. Infelizmente morreu antes de sabê-lo. O legado de Darwin é inegável para a compreensão da vida na Terra. Além disso, foi mais um choque na hegemonia do paradigma do determinismo.

As objeções religiosas à **Teoria da Evolução via Seleção Natural** ligam-se mais ao fundamentalismo, que tende à leitura literal dos mitos em que se formularam crenças e conhecimento filosófico da antiguidade do que numa efetiva negação à existência de Deus, que lhe é atribuída. A suposição de um Deus como inteligência deflagradora ou mentora do fluxo de eventos do Universo não é realmente contestada; a ciência não a nega nem a comprova. O que se torna difícil, no entanto, diante da descoberta de Darwin, como de outros tantos fatos científicos, é a constatação inexorável de que mitos (dogmas) religiosos arraigados por mais de um milênio sejam contestados. Pelo fato das religiões não poderem dispensar dogmas e a ciência não os aceitarem, posto que o questionamento eterno é seu maior valor, é de esperar que essa questão perdure.

Relatividade e Mecânica Quântica

Em 1905, **Albert Einstein** publicou um trabalho, dentre outros, onde expôs a sua Teoria da Relatividade Restrita; em 1916 publicou a Teoria Geral da Relatividade que, conforme a **Explicação Prévia** escrita pelo próprio Einstein, "pode ser considerada como o resultado de uma luta contra um conceito fundamental da Física de Galileu e Newton, o conceito de **sistema de inércia**" (EINSTEIN, 1984). A relação entre **massa (m)** e **energia (E)**, da famosa equação $E = mc^2$, é que permitiu (anos depois) a fabricação de bombas atômicas, de notável poder de destruição, como se sabe. No prefácio de seu livro, David Bodanis (2001) conta que

Há pouco tempo, eu estava lendo uma entrevista com a atriz Cameron Diaz em uma revista de cinema. No final, o entrevistador perguntou se havia alguma coisa que ela gostaria de saber e ela respondeu que gostaria de saber o que $E = mc^2$ realmente significa. Ambos riram, depois Diaz resmungou dizendo que estava falando sério e, então, a entrevista terminou. "Você acha que ela estava falando sério?", perguntou um de meus amigos depois que a li em voz alta. [...] Isso me fez pensar. Todo mundo sabe que $E = mc^2$ é realmente importante, mas geralmente não sabe o que significa; isso é frustrante, porque a equação é tão curtinha que seria de se imaginar que fosse algo compreensível.

Ao leitor, em especial aquele sem formação na área de Física, recomenda-se ler o livro de Bodanis. Uma das provas da constatação, por Einstein, de que **a luz, bem como a massa de um corpo, sofre a ação da gravitação**, é a **lente gravitacional**. Considere dois corpos celestes, duas estrelas ou duas galáxias, uma atrás da outra, ambas no firmamento: a luz da mais distante será ampliada pela ação da lente gravitacional da mais próxima. Na verdade, o efeito da gravidade atrai os raios de luz emitidos pela estrela mais distante, recurvando-os, dando a impressão de ser, esta, muito maior

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

do realmente o ϵ^{10} . É esse fenômeno - a chamada distorção do espaço-tempo - que tem permitido descobrir e observar, com inesperado detalhamento, planetas fora do sistema solar (**exoplanetas**). A discussão sobre quais deles poderiam ter ou teriam formas de vida constituem um dos temas apaixonantes das atuais especulações científicas.

Um aspecto da Relatividade de Einstein: imagine que você esteja em um trem que viaja a uma velocidade constante e veja um ponto de luz ir do piso até o teto, refletir neste, e voltar ao piso. Para você que está viajando com o trem, o percurso do fóton é duas vezes a altura do trem. Mas, para um observador do lado de fora do trem, o percurso é bem maior. A explicação para essa diferença, que é constatável, conduz à proposta einsteiniana de considerar o tempo uma quarta dimensão que, somando-se as três do espaço, perfazem o espaço-tempo quadridimensional - largura, altura, profundidade e tempo - algo não previsto na Lei da Gravitação Universal, de Newton.

O próprio Einstein (1999; p. 64-65) fala da ação gravitacional sobre raios luminosos:

[...] Embora um exame detalhado nos mostre que a curvatura dos raios luminosos fornecida pela Teoria Geral da Relatividade é extremamente pequena para os campos gravitacionais de que dispomos na prática, ela deve atingir 1,7 segundos de arco para os raios luminosos que passam nas proximidades do Sol. Isto deveria se manifestar pelo fato de que as estrelas fixas que aparecem próximas ao Sol, e que durante os eclipses totais do Sol são acessíveis à observação, se afastam aparentemente do Sol por aquele valor, em relação à posição por elas ocupada no céu quando o Sol se encontra em outra região do firmamento. O teste desta previsão é uma tarefa de extrema importância cuja solução pelos astrônomos pode ser esperada para breve.

Além de prever o desvio de raios luminosos pela ação gravitacional indicando seu valor, Einstein tornou pública a

¹⁰ Isso ocorre também quando a radiação luminosa de um estrela ou galáxia é desviada pela gigantesca atração gravitacional de um **buraco negro**.

afirmação esperando que astrônomos pudessem constatar tal previsão. De fato, informa a nota de rodapé colocada pelo editor da obra (EINSTEIN, 1999; p. 65): "A existência do desvio luminoso exigido pela teoria foi constatada por meio de fotografias no eclipse total do sol de 30 de maio de 1919, por duas expedições organizadas pela Royal Society [e pela Royal Astronomical Society], sob a direção dos astrônomos Eddington e Crommelin (ver apêndice 3)".

O Apêndice 3 desta mesma obra traz os dois lugares de onde os astrônomos fotografaram o eclipse total do Sol: a cidade de Sobral, no Ceará, e a Ilha do Príncipe, na África Ocidental. A essa altura, Einstein poderia ter falado "eu não disse?".

Há grande variedade de bons textos didáticos sobre a Teoria da Relatividade, de Einstein. Gosto muito, em particular, o do astrônomo brasileiro Ronaldo Rogério de Freitas Mourão (2005; p. 15-16) que, já na Introdução, presta uma homenagem ao mestre.

Para os conhecedores da história da ciência, a expressão "ano miraculoso" está associada ao ano de 1666, durante o qual Isaac Newton teria estabelecido a maior parte da física e da matemática que revolucionou a ciência do século XVII. No entanto, nada mais justo que usar a mesma expressão com relação ao ano de 1905, quando Einstein publicou os cinco artigos que iriam revolucionar a ciência do século XX. Na realidade, existe uma enorme diferença entre os dois: enquanto Newton estabeleceu – sem publicá-los de forma definitiva – as ideias e os conceitos que ocasionaram as bases de sua versão de cálculo, de sua teoria das cores e da teoria da gravitação, Einstein redigiu e publicou seus cinco valiosos artigos na revista 'Annalen der Physik'. Ao contrário de Einstein, as ilações de Newton em 1666 só foram publicadas muitos anos mais tarde. O ano de 1905 – 'annus mirabilis' de Einstein – marca o momento de sua emergência junto à comunidade dos físicos.

Na década de 1920, outra teoria da Física ganhou força: a **Mecânica Quântica**. Dois de seus principais expoentes são: **Niels Bohr** (1885-1962) e **Werner Heisenberg** (1901-1976). **Bohr**, que estabeleceu o **Princípio da Complementaridade** (1995); e **Heisenberg** (1996), o **Princípio da Incerteza**. Assim como a

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Teoria da Relatividade, a Mecânica Quântica trouxe um grande avanço na Física de partículas. Dentre as reações inesperadas, tornou-se célebre a frase de Einstein "Deus não joga dados" - uma contestação cética ao componente probabilístico introduzido pela Mecânica Quântica. Atribui-se a Bohr uma resposta elegante: "Aquele que não se choca com a Teoria Quântica, não a entendeu".

Fica evidente o grau de dificuldade em fazer entender tal teoria, especialmente para não físicos, já que entre eles mesmos o consenso não é tão simples. De qualquer forma, os trabalhos de Heisenberg e Bohr podem ser expostos de forma sucinta, como segue, lembrando que há referências suficientes para pesquisa detalhada (BENSON, 1991, p. 852-854; HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 1993, p. 1168-1172):

Princípio da Incerteza, de Heisenberg.

É fundamentalmente impossível definir, ao mesmo tempo, posição e velocidade para uma partícula.

Princípio da Complementaridade, de Bohr.

Um experimento de um aspecto de um sistema (de dimensões atômicas) destrói a possibilidade de aprendizagem sobre um aspecto complementar do mesmo sistema.

Enquanto Heisenberg assegura que o instrumento de medida interfere na medição, Bohr chama a atenção para os aspectos complementares, **onda-partícula**, pelos quais se considera que o elétron ora se comporta como partícula e ora como onda. Os dois aspectos são necessários para a compreensão do elétron ou do objeto de estudo. Não se pode construir um experimento capaz de nos fazer aprender sobre os dois aspectos simultaneamente. Isso significa que o observador não pode ser isolado do experimento, como a física clássica o considerava. O determinismo foi definitivamente colocado dentro de seus reais domínios: apenas mais um paradigma (visão de mundo coletiva), dentre outros. Extinguem-se os últimos resíduos das certezas escolásticas.

A construção desse fato, evidentemente, foi coletiva. De acordo com o Prof. Roberto de Andrade Martins (2006, p. 13), essa nova teoria da Física teve a colaboração de muitas mentes brilhantes,

Nenhuma teoria física nasce de repente, do cérebro de uma pessoa isolada. Todas vêm de longa gestação e vão sendo construídas com a ajuda de dezenas de pessoas. A Mecânica Quântica não fugiu à regra. Foram necessários cerca de 30 anos para que ela chegasse a um estágio maduro, transformando-se em algo completamente diferente do que havia sido no início. Durante esse desenvolvimento contou com a colaboração de alguns dos mais importantes físicos teóricos do início do século XX, como Plank, Einstein, Bohr, Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born, Pauli, Dirac – todos eles ganhadores do Prêmio Nobel. Esses nomes famosos, no entanto, constituem apenas uma amostra visível, o "primeiro escalão" do exército de pesquisadores que contribuíram com ideias e experimentos.

Vários ensinamentos nos foram legados pelas mentes brilhantes que contribuíram para a construção da ciência moderna. Talvez um dos mais relevantes seja: **uma teoria que não aceite refutação não pode ser considerada como teoria científica.**

2.2 Interdisciplinaridade na Ciência

Uma vez consolidada a Física do início do Século XX, o próprio Bohr (1995) fez incursões fora da Física, participando de diversos congressos. Entre outros:

- *Discurso na reunião de abertura do Congresso Internacional sobre Terapia através da Luz, Copenhague, agosto de 1932;*
- *Discurso no Congresso de Física e Biologia em memória de Luigi Galvani, Bolonha, outubro de 1937;*
- *Discurso no Congresso Internacional de Ciências Antropológicas e Etnológicas, Copenhague, proferido numa reunião no Castelo de Kronborg, Elsinore, agosto de 1938.*

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Algo começava a abrir brechas em muralhas conceituais que, até então com resultados considerados bons, confinavam o conhecimento em gavetas protegidas por nomenclaturas e metodologias próprias. Seria também, mais adiante, como se os homens da fita métrica e da chave de fenda, os que historicamente fornecem instrumentos técnicos ao poder sem exercê-lo, fossem convidados aos reinos onde habitam textos extensos, explicações abrangentes, ambiguidades magníficas, território em que, não havendo constatação possível, não se conhece o erro irreparável.¹¹

Em tais incursões fora de sua área, Bohr apenas tentava dar sua contribuição a um novo paradigma que estava a florescer, ante a necessidade de abordagem interdisciplinar da ciência em geral. Evidentemente, nem sempre se obtinha êxito. Sobre este tema emergente na ciência, o biólogo Ernst Mayr, um dos responsáveis pela revitalização da Teoria da Evolução via Seleção Natural, com a **Síntese Evolucionista** sugere correções (MAYR, 2008, p. 37):

Uma outra ironia, no entanto, é que muitos biólogos no período após 1925 acreditaram que princípios da física recém-descobertos, como a teoria da relatividade, o princípio da complementaridade de Bohr, a mecânica quântica e o princípio da incerteza de Heisenberg, forneciam um vislumbre novo aos processos biológicos. De fato, até onde posso julgar, nenhum desses princípios se aplica à biologia. Apesar de Bohr ter buscado nela evidências para a complementaridade e ter tentado algumas analogias desesperadas para obtê-las, tal princípio não existe na biologia. A incerteza de Heisenberg é algo muito diferente de qualquer tipo de indeterminação encontrado na biologia.

Porém, ele mesmo, admite situação contrária, reportando-se a uma palestra por ele proferida em Copenhague no começo da década de 1950 (Mayr, 2008, p. 13):

À primeira vista, pensei que o fenômeno da emergência, como agora ele é chamado, se restringisse ao mundo vivo; (...) cheguei a afirmar que a emergência era uma das características diagnósticas do mundo vivo. (...)

¹¹ Contribuição do Prof. Nilson Lemos Lage.

Portanto, quando o físico Niels Bohr, que estava na plateia, se levantou para falar durante o processo de discussão, eu estava preparado para uma refutação devastadora. No entanto, para minha grande surpresa, ele não fez nenhuma objeção ao meu conceito de emergência, mas somente à minha afirmação de que tal conceito estabelecia uma fronteira entre as ciências físicas e as biológicas. Citando o caso da água, cuja "aquosidade" não poderia ser prevista a partir das características de seus dois componentes, o hidrogênio e o oxigênio, Bohr declarou que a emergência era algo frequente no mundo inanimado.

O fenômeno da emergência tornou-se um dos primeiros conceitos a serem aceitos como válidos, simultaneamente, em duas grandes disciplinas científicas (Física e Biologia), e com a concordância de dois de seus maiores expoentes no século XX.

Assim surgia a necessidade de verificar de que forma o desenvolvimento em uma disciplina poderia dar contribuições ao desenvolvimento de outras. Constatou-se que determinados problemas complexos não poderiam ser solucionados com métodos oriundos de uma única disciplina (neste caso, um problema complexo exigiria a participação de competências adquiridas em mais de uma disciplina, ou uma espécie de diálogos entre métodos de mais de uma disciplina). Em última instância, o foco passa a ser não a "poderosa disciplina" através da qual se contemplava o problema complexo, mas a solução do problema complexo em si.

Além disso, as chamadas ciências positivas usavam o método de análise, em que um sistema é quebrado em suas partes constituintes, analisadas, verificadas suas propriedades e funcionalidades para, só então, tentar-se inferir características e funcionalidades do sistema original. Um exemplo claro da dificuldade de usar-se apenas este método é o estudo de um organismo vivo. Separando-se as partes constituintes de um organismo (um sistema), perdem-se suas funcionalidades. Em outras palavras, o organismo vivo só existe se o todo estiver preservado. O método "Jack, o estripador" é literalmente mortal.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Teoria Geral de Sistemas

Foi o biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972) quem compilou formalmente as preocupações e necessidades interdisciplinares da ciência, e cunhou a expressão Teoria Geral de Sistemas. Em seu livro, Bertalanffy (1969, p. 36-37), declara que

Enquanto no passado, a ciência tentava explicar fenômenos observáveis reduzindo-os a interações de unidades elementares investigáveis independentemente uns dos outros, concepções na ciência contemporânea surgiam relatando uma coisa meio vaga denominada "totalidade", isto é, problemas de organização, fenômenos não resolvidos em eventos locais, interações dinâmicas manifestas na diferença de comportamento das partes quando isoladas ou em configuração superior, etc.: em resumo, "sistemas" de várias ordens não compreensíveis pela investigação de suas partes isoladamente. Concepções e problemas desta natureza apareceram em todos os ramos da ciência, independentemente de se tratar de coisas inanimadas, organismos vivos ou fenômenos sociais como objeto de estudo.

[...] Essas considerações levam a postular uma nova disciplina científica que chamamos de teoria geral de sistemas. Seu assunto principal é a formulação de princípios que são válidos para "sistemas" em geral, não importando a natureza de seus elementos componentes e das relações ou "forças" entre eles.

Bertalanffy (1969) exemplifica suas ideias de várias formas, mas uma parece a mais simples. Observa que a física convencional trabalha com sistemas isolados (quando não há possibilidade de troca de energia com seu ambiente), o que talvez seja uma redução necessária à solução de determinados problemas. No entanto, a termodinâmica prova que em um sistema isolado a entropia (a parte da energia total que não está pronta para realizar trabalho) tende a crescer sempre, o que o levaria ao colapso.

O organismo humano (como qualquer organismo biológico), quando considerado um sistema, não pode ser tipificado como isolado, pois sem o aporte de energia perderia suas funções vitais e, portanto, deixaria de existir como tal.

A hegemonia das ciências físicas custou caro a outras disciplinas, como é o caso da Biologia (em certo momento, considerada "ciência menor"). Os biólogos lutaram muito para efetivá-la como ciência e ser reconhecida como tal. O livro **Isto é Biologia**, deixa a entrever a dureza dessa luta (MAYR, 2008, p. 49-50).

Para citar outro exemplo de como a ciência muda gradualmente, o forte empirismo da Revolução Científica levou a uma ênfase na descoberta de fatos novos, ao mesmo tempo em que, curiosamente, se dava pouca atenção à importância que o desenvolvimento de novos conceitos tem no desenvolvimento da ciência. Hoje, conceitos como competição, origem comum, território e altruísmo são tão significativos na biologia quanto às leis e descobertas nas ciências físicas, e assim mesmo sua importância foi estranhamente ignorada até bem recentemente. Essa negligência se reflete, por exemplo, nas categorias estabelecidas para os prêmios Nobel. Mesmo se houvesse um prêmio Nobel para a biologia (o que não é o caso), Darwin não poderia ter sido premiado pelo desenvolvimento do conceito de seleção natural – certamente o maior feito científico do século XIX – porque a seleção natural não foi uma descoberta.

Se a batalha por reconhecimento da biologia como ciência foi extremamente dura, é possível imaginar a intensidade da resistência a que a Teoria Geral de Sistemas enfrentou para que fosse considerada disciplina científica. E a razão central dessa estranheza consiste no fato de que ela tenta congrega pesquisadores de áreas distintas na busca de soluções de problemas complexos e interdisciplinares.

A batalha da Biologia, na luta pelo seu reconhecimento como ciência, muito contribuiu para elevar as demais ciências ao mesmo patamar de importância que o das ciências ditas positivas. O cartesianismo mecanicista considerava que um organismo nada mais era que uma máquina e que todas as manifestações podiam "ser explicadas como sendo a matéria em movimento". Em oposição a essa crença redutora, surgiu o vitalismo, para o qual, "a vida estava conectada ou a uma substância que eles chamaram de protoplasma"¹²,

¹² Não confundir com o protoplasma celular.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

que não podia ser encontrada na matéria inanimada ou a um estado especial da matéria, como o estado coloidal¹³, que (dizia-se) as ciências físico-químicas não estavam equipadas para analisar".¹⁴

O vitalismo surgiu como "uma revolta contra a filosofia mecanicista da Revolução Científica e contra o fisicalismo, de Galileu a Newton". Mas também apresentava problemas: seus partidários "por mais decididos e convincentes [...] eram igualmente indecisos e pouco convincentes em seu próprio esforço explicativo" (MAYR, 2008; p. 29). E isso levou à sua derrocada. Ao contrário do que se poderia esperar, não foi uma vitória do fisicalismo: levou, sim, à necessidade de uma nova forma de explicação ou paradigma (MAYR, 2008; p. 38).

Esse novo paradigma aceitava que os processos no nível molecular poderiam ser explicados exhaustivamente por mecanismos físico-químicos, mas que esses mecanismos desempenhavam um papel cada vez menor, se não desprezíveis, em níveis de integração mais altos. Eles são substituídos pelas características emergentes dos sistemas organizados. As características dos sistemas vivos não se devem à sua composição, e sim à sua organização. Esse modo de pensar é hoje comumente chamado de "organicismo". Ele enfatiza em particular as características de sistemas ordenados altamente complexos e a natureza histórica dos programas genéticos que evoluíram nos organismos

Na citação de Mayr, considere, especificamente, "as características dos sistemas vivos não se devem à sua composição, e sim à sua organização". Essa formulação conduz a uma comparação edificante. Imagine uma comunidade de pequenos produtores rurais que pratique agricultura familiar. Cada produtor, isoladamente, não tem poder de barganha na compra de insumos (fertilizantes, etc.) nem escala de produção que os torne relevantes do ponto de vista do mercado; isso faz com que seu custo seja alto, quando comparado ao poder de barganha dos grandes produtores rurais e aumenta os riscos

¹³ Não confundir com o nome dado a sólidos gelatinosos.

¹⁴ Contribuição do Prof. Nilson Lemos Lage.

de perda na hora da comercialização. Organizados em forma de cooperativa, o *handicap* negativo desaparece ou se reduz bastante; será tão menor quanto mais consistente for o mecanismo de decisão da cooperativa - sua organização funcional. Daí, o **poder de barganha da cooperativa citada não se deve à sua composição, e sim à sua organização.**

A partir dessa comparação, pode-se compreender melhor a afirmação de Bertalanffy de que **o assunto principal da Teoria Geral de Sistemas é a formulação de princípios que são válidos para "sistemas" em geral, não importando a natureza de seus elementos componentes e das relações ou "forças" entre eles.** Veja que a cooperativa compreende um todo, uma inteireza ou uma totalidade, um nível de integração mais alto, como disse Mayr, com características não observadas, necessariamente, em seus cooperados. Em outras palavras, não se pode olhar a cooperativa no mesmo nível de observação que o de seus cooperados; ou seja, a cooperativa agrícola não é um organismo vivo, mas é um **sistema.**

Bem-vindo à **Era de Sistemas.** Bem-vindo à **Teoria Geral de Sistemas.**

Na década de 1940, Norbert Wiener (1894-1964) cunhou a expressão **cibernética**, em seu livro homônimo. A palavra cibernética, tal como registra o Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 6.0, de 2009, significa "**a arte do piloto**" do grego *kybernetiké*, redução de *téchne kybernetiké*. Definiu-a como "**ciência que estuda as comunicações e o sistema de controle não só nos organismos vivos, mas também nas máquinas**". Note a ironia da expressão **ciberespaço**, hoje se referindo principalmente à Internet, que o mesmo dicionário traz como

*Dimensão ou domínio virtual da realidade, constituído por entidades e ações puramente informacionais; meio, conceitualmente análogo a um espaço físico, em que seres humanos, máquinas e programas computacionais interagem. (de **ciber-** + **espaço**; do inglês **cyberspace**).*

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Na verdade você não apenas pilota a Internet, mas também é pilotado por ela.

O trabalho de Wiener (2000), de certa forma, corroborou para a sustentação da necessidade da visão científica sistêmica. O século vinte trouxe, no pós-guerra, a guerra fria e a corrida espacial. Esta última, com o **primeiro voo orbital de Yuri Gagarin** e a **descida do ser humano na lua**, feitos tecnológicos considerados ímpares que resultaram de competição tecnológica e propagandística entre as duas potências da época, os Estados Unidos e a União Soviética. E não parou por aí. Na esteira da mesma competição e em decorrência de complexidades de cálculo impostas pela pesquisa nuclear e pela indústria de guerra, vieram o computador digital de grande porte, o computador pessoal e, finalmente, a Internet.

Simultaneamente, a biologia deu um passo gigantesco com a publicação do trabalho de James Watson e Francis Crick (2011) sobre a dupla hélice do DNA. Esse descobrimento permitiu desmontar uma das mais sinistras fraudes perpetradas contra a dignidade do ser humano: o conceito de raça e sua insubsistente fundamentação biológica. **Não há raças humanas, salvo considerando-se raça humana, no singular, como sinônimo de espécie humana.** *Bye, bye*, preconceito. No entanto, o próprio Watson, aos 90 anos, fez um comentário que demonstra sua cegueira ideológica e desconhecimento da História, ao se referir à "inferioridade da inteligência do povo africano" segundo Hunt-Grubbe,(2007), provocando uma indignação globalizada.

Felizmente, neste caso, a descoberta científica não herda os preconceitos do cientista que a fez.

Mayr (2008; p. 38-39), citando outros autores reforça a necessidade da visão sistêmica,

[...] os todos são tão relacionados com as suas partes que não só a existência do todo depende da ordenada cooperação e interdependência de suas partes, mas também o todo exerce uma medida de controle sobre suas partes. [...] Um todo, de acordo com a visão aqui apresentada, não é simples, mas composto, e constitui-se de partes. Os todos naturais, como

os organismos, são [...] complexos ou compostos, consistindo em muitas partes em relação ativa e interação de um tipo ou outro, como células em um organismo. [...] O todo é mais do que a soma de suas partes.

Voilà! O todo é mais do que a soma de suas partes. Células, cooperativas agrícolas, molécula de água, são exemplos de sistemas que apresentam características não necessariamente observadas em seus componentes. E mais, se você os quebra em suas partes constituintes, tais características não apenas deixam de existir como também não podem ser inferidas a partir da análise de seus componentes.

2.3 Explosão Científico-Tecnológica

A segunda metade do século XX representou a era da maior explosão científico-tecnológica da história humana. A expressão científico-tecnológica é proposital, pois jamais a ciência e a tecnologia haviam caminhado de forma tão interdependentes quanto neste período. A quantidade de pessoas envolvidas neste processo cresceu exponencialmente, tendo como palco um número cada vez maior de países. Em parte pelo crescente número de programas de pós-graduação nos quatro cantos do globo e, em parte, pela demanda que o mercado impôs numa economia globalizada. Lamentavelmente, em parte pela continuidade das tensões que determinam a competição militar e estratégica.

Entre 1972 e 1973 cursei meu mestrado em engenharia elétrica na Universidade Federal de Santa Catarina. A UFSC tinha um computador de grande porte, o **IBM 1130**, com **16 KB** de memória **RAM** (Random Access Memory, a memória volátil, de trabalho, cujo conteúdo é apagado quando você desliga o computador). Antes que eu defendesse minha dissertação, a UFSC obteve recursos e dobrou esta capacidade, passando a ter **32 KB**. Hoje pode parecer estranho que um computador desses fosse capaz de processar o

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

vestibular, a administração acadêmica e a administração de pessoal, mas era isso o que ocorria.

No começo da década de 1980, o lançamento do computador pessoal, o conhecido PC (iniciais, em inglês, de Personal Computer), já veio com memória RAM de **640 KB**. E mais do que o lançamento de um produto novo, o PC trouxe a esperança de que, em breve, o preço caísse e o tornasse acessível a um número cada vez maior de pessoas, o que veio de fato a ocorrer. Antes do final da década de 1980, com a proliferação de PC's, estava formada a base tecnológica para o declínio do domínio do computador de grande porte, e o crescente uso de redes de computadores. A Internet chegou no começo dos anos 1990. O uso generalizado da tecnologia, a partir de então, não conhece fronteiras, sejam elas físicas ou não. Todas as áreas do conhecimento a utilizam, mesmo aquelas que, porventura, se mostravam reticentes ao seu uso. Da educação à engenharia, da física à biologia, da medicina à geografia, de uma forma ou de outra, tornaram seu uso uma rotina.

O surgimento e aperfeiçoamento da computação digital e o avanço nas técnicas de programação, certamente, forneceram uma base cada vez mais sólida para novos avanços científicos e tecnológicos. A exploração espacial alinha-se aí. Para a viagem do ser humano à Lua, além da potência do foguete e das estratégias para a sobrevivência dos astronautas norte-americanos (os russos são denominados cosmonautas; os chineses, taiconautas, respeitadas as formas das línguas nacionais), problemas complexos precisavam ser solucionados. Para trazer a cápsula de volta para a Terra, é necessário cálculo com excelente precisão: se ela chocar-se com a atmosfera terrestre em ângulo inadequado, pode espatifar-se ou ricochetear na atmosfera levando-a a uma órbita indesejada sem retorno possível. A solução, dentre outras coisas, previa a estimação da trajetória, baseada em estrelas fixas, corrigindo-a de tempos em tempos durante seu caminho de volta. Computadores baseados na Terra processam número enorme de dados, considerando variáveis monitoradas durante toda a viagem, como pressão atmosférica,

temperatura, vazamentos, combustível, etc., além das condições físicas e psicológicas dos astronautas.

Na viagem à Lua, em dezembro de 1968, muitos desses problemas eram novos, apesar de viagens exploratórias precedentes. A volta do módulo lunar da superfície da Lua ao módulo de comando, com precisão, era tida como outro grande desafio devido à escassez de combustível. Sem o suporte da tecnologia necessária, simplesmente não haveria possibilidade alguma deste grande feito, que certamente terá continuidade, abrangendo novos alvos.

A explosão científico-tecnológica se dá em quase todas as áreas do conhecimento humano, notadamente naqueles em que a interdependência é mais aguda. É o caso da Biologia, da Medicina, das Engenharias, da Física, da Química, da Ciência da Informação, da Educação, etc., mas em menor grau em áreas cuja interdependência é menor, como a Ciência Política e a Filosofia. Hoje é praticamente impossível acompanhar-se todo o avanço científico-tecnológico em áreas de alta interdependência científico-tecnológica. Em praticamente todas elas, o acompanhamento possível é estatístico e computadorizado.

Durante a chamada "guerra fria", em que o mundo ficou à mercê de duas grandes potências, Estados Unidos e União Soviética, volume gigantesco de recursos foi alocado para ciência e tecnologia, o que, de certa forma, contribuiu grandemente para o avanço tecnológico. Até o final dos anos 1980, quando a União Soviética se esfacelou (algo que já se previa em meados da década de 1970), os Estados Unidos ficaram praticamente sozinhos no comando da política global. Inquietos com isso, os países europeus saíram na frente e criaram a Comunidade Europeia, bloco que se pretendeu capaz de partilhar o poder de maneira relevante, expressando ajustes econômicos já concertados. Outros blocos começaram a dar seus primeiros passos, como o MERCOSUL, etc., sempre em busca de melhores condições de negociação em uma economia globalizada.

Tal como acontecera no início do século XX com a Alemanha, a Itália, a Rússia e o Japão (com as trágicas consequências humanas

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

de duas guerras mundiais e décadas de tensão política), novos pretendentes ao banquete das nações ricas apresentaram-se: a China, o Brasil, a Índia, etc. Outros episódios virão.

A globalização, abalada pela financeirização da economia e as crises decorrentes, no começo do século XXI, afetou quase todas as atividades humanas. Empresas de software contratam programadores exercendo suas atividades em outros países. Provavelmente pelo custo mais baixo destes profissionais. Indústrias deixaram de fabricar a totalidade de seus produtos em seu próprio sítio, encomendando a fabricação em outros países. O capital, este, mundializou-se, viajando pelo mundo sem parar, de mercado em mercado.

Na maioria das vezes o consumidor não toma conhecimento desses eventos. Também, porque haveria de preocupar-se? O abalo sísmico no Japão, em 2011, cujo tsunami destruiu drasticamente uma parte do país, foi tornado conhecido em detalhes em questão de horas no mundo inteiro, tal é o poder da comunicação global. Um evento como a Copa do Mundo de Futebol é assistido por bilhões de pessoas. Bactérias viajam de avião, espalhando-se em horas. Os recursos naturais são tensionados. Os efeitos colaterais são assustadores, tanto quanto os horizontes se alargam.

Como é do conhecimento público, o Estado de Santa Catarina é um dos maiores produtores de aves e suínos do Brasil. No entanto, esta enorme produção trouxe efeitos de segunda ordem que exigiram e exigem investimentos gigantescos, principalmente para a proteção de rios, mananciais e reservas subterrâneas do aquífero Guarani. O consumo de pilhas armazenadoras de energia elétrica para pequenos aparelhos, como telefones celulares cria o problema de reciclá-las, já que não devem ser devolvidas à natureza após o uso.

O Brasil é um dos campeões em reciclagem de alumínio. A quantidade de bebidas envasadas desta forma é fenomenal. E o alumínio é um recurso extraído da natureza e, portanto, não renovável. Tecnologia de reciclagem é bem vinda, claro. Não apenas no alumínio, mas em todos os recursos não renováveis. Uma nova

visão de mundo emergiu no último quarto do século XX, com uma preocupação cada vez maior com a "saúde" do planeta Terra.

O consumo de energia elétrica para iluminação, transporte e processamento industrial (como no caso da eletrólise da bauxita na fabricação de alumínio), demanda quantidades enormes de energia. Reciclar o alumínio, como se faz no Brasil, é fundamental; e não só o alumínio.

A Terra está em um lugar privilegiado no nosso sistema solar, chamado de **zona de habitabilidade**: nem tão próximo do Sol, sem que a água se vaporize, nem tão distante para que se congele totalmente em sua superfície. Seu movimento de rotação diária permite que o Sol aqueça toda a superfície do planeta de forma mais ou menos similar. Seu movimento de precessão gera as quatro estações do ano e faz a festa dos animais e vegetais, bem adaptados a tais eventos. Nosso satélite, a Lua, faz com que esse movimento terrestre de precessão permaneça adequado para que a maior parte do gelo fique sempre alocada nas calotas polares; o percentual de oxigênio na atmosfera terrestre não é nem tão pequeno tal que nos permita respirar, nem tão grande para que um único palito de fósforo aceso pudesse causar um desastre; a camada de ozônio protege os terráqueos (pelo menos a maioria) da radiação ultravioleta. O campo magnético da Terra a protege das tempestades solares permitindo a existência de vida.

A vida, portanto, se mantém por um equilíbrio frágil. Manter este equilíbrio passou a ser uma preocupação válida, anticíclica do consumismo e poderosamente crítica do modelo econômico. Considerar essa questão por partes não parece promissor: é preciso uma visão sistêmica. A Teoria Geral de Sistema, portanto, é uma ferramenta essencial.

2.4 Existência Simultânea de Múltiplos Paradigmas

Como já enfatizado neste texto, a palavra paradigma é usada com a interpretação de visão de mundo coletiva. Sendo esta visão de mundo coletiva o conjunto interseção de conjuntos representando visões de mundo individuais de uma determinada comunidade, qualquer que seja este agrupamento de seres humanos. Em outras palavras, qualquer paradigma é formado a partir de visões de mundo individuais.

Em uma determinada comunidade, portanto, é comum a coexistência de dois ou mais paradigmas, que decorrem de diferentes visões de mundo de base econômica ou social. E a ocorrência simultânea de múltiplos paradigmas não representa, necessariamente, problema insolúvel. Problema ocorre quando um paradigma, sendo dominante, se arroga dominador. Foi o que aconteceu com o paradigma escolástico, em que o fanatismo religioso impôs a Inquisição, de triste memória. Mas não foi a primeira ocorrência e, certamente, não será a última. Neste começo de século XXI mesmo ainda existem sociedades onde persistem paradigmas dominadores a promover exclusão social. Mas o império romano nos legou uma lição valiosa: o dominador pode até ser longo, mas cai; é substituído por outro. **É: a fila anda!**

Sem a existência do paradigma dominador, a coexistência de múltiplos paradigmas é natural e, ao mesmo tempo, salutar, uma vez que exibem esforços coletivos de seres humanos que, situando-se em diferentes estágios econômicos e ocupando espaços sociais distintos, exibem, ainda, diversidades genéticas e culturais únicas. Tais diversidades são preciosas porque são elas que movem a História.

3 CONCEPÇÃO DE SISTEMAS

As características dos sistemas vivos não se devem à sua composição, e sim à sua organização.

Ernst Mayr (2008)

Neste início do capítulo que trata de como um sistema é concebido, quero enfatizar, mesmo correndo o risco de ser repetitivo, que a evolução da visão de mundo coletiva mostra claramente um crescente aprendizado humano sobre o mundo onde se vive. Como observador privilegiado do mundo que o cerca, o ser humano pode refletir sobre o que observa e, com isso, construir mentalmente uma visão de mundo individual. Foi visto que a visão de mundo coletiva é formada por um conjunto de visões individuais de mundo, e que cada indivíduo possui uma visão de mundo que é única (só sua), diferente de qualquer outra de seus semelhantes. Portanto, é interessante iniciar-se o entendimento de sistemas a partir de uma simples visão de mundo individual, ainda que genérica.

3.1 Definição de Sistema

Todo sistema é uma construção mental, mas nem toda construção mental é um sistema. A observação permite ao ser humano ter uma visão de mundo individual e única. Esta, por sua vez, está longe de ser (ou, simplesmente, representar) o mundo real que o cerca: é tão somente uma redução adequada ao observador, delimitada pela necessidade imediata de sua sobrevivência e pelos limites de sua estrutura cognitiva. Devido à grande quantidade de variáveis envolvidas, há uma infinidade de possibilidades de geração de visões de mundo para cada observador humano. Mas, na medida em que o tempo passa e mais observação é feita, uma visão em particular vai ganhando preferência e poderá ir-se modificando

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

posteriormente. No entanto, em um dado instante de tempo, uma visão de mundo particular se fixa no observador.

Um conjunto de aspectos, resultantes do processo de observação, é que forma a visão de mundo do observador, conforme a **definição 1.1**. A reflexão sobre esses aspectos pode levar o observador, por via da abstração, a isolar alguns que lhe pareçam relevantes. Se tais aspectos guardarem relações capazes de formar uma unidade funcional, a inferência é imediata: **o observador acaba de construir mentalmente um sistema**. A definição de sistema utilizada neste texto é

- **Definição 3.1**

Um sistema é uma construção mental de uma organização contendo uma coleção de objetos inter-relacionados em uma dada estrutura perfazendo um todo (uma unidade) com alguma funcionalidade que o identifica como tal.

Em geral, há dois tipos de definição: **definição forte** e **definição fraca**. A diferença é que uma definição forte é muito restritiva, enquanto a outra, não - e, por isso, a definição fraca pode contemplar uma quantidade maior de objetos. Como este texto pretende trabalhar as condições básicas de sistema em um contexto interdisciplinar, a definição fraca é a mais adequada e foi a adotada. Para definição forte de sistema, recomenda-se outra literatura (ZADEH; POLAK, 1969).

Veja um exemplo simples. Se você acender um palito de fósforo e, em seguida o colocar em um copo com água, o fogo imediatamente se apagará. **Apagar o fogo** é uma propriedade da água. Ora, uma molécula de água, **H₂O**, é composta de dois átomos de **hidrogênio** e um de **oxigênio**. O hidrogênio é combustível, tanto que foi utilizado em forma líquida no foguete Saturno V, da NASA, para viagens à Lua. O oxigênio é carburante, sua presença é necessária para que o fogo se mantenha. A forte relação coesiva dos componentes moleculares da água é que faz com que a unidade que constroem (sistema) apague o fogo. No entanto, se a molécula de água for quebrada novamente em seus componentes originais, essa

propriedade some, não mais existirá. Parafraseando Mayr, a característica **apagar fogo** (da água) não se deve apenas à sua composição, e sim à sua organização.

Objetos como cadeira, mesa, automóvel, árvore, sapato, ferro de passar roupa, computador, navio, casa, empresa, etc., podem ser catalogados sob a rubrica **sistema**. Todos eles existem no mundo exterior, mas o que se constrói em nossa mente é apenas (Platão e a Alegoria da Caverna, de novo) a **sombra** do objeto real. A redução do objeto complexo construída mentalmente enquadra-se perfeitamente na definição de sistema.

Considere-se o sistema cadeira. Não importa o modelo, o *design*, a dimensão, será sempre reconhecida como tal. Até algo improvisado como cadeira - como um muro baixo, por exemplo - será utilizado como tal para quem está cansado em uma caminhada.

Solicitado a citar todos os tipos, o ser humano não se lembraria da grande maioria; mesmo um fabricante de móveis seria incapaz de relacionar todos. Mas, quando qualquer cadeira lhe fosse apresentada, ainda que de formato estranho, imediatamente a reconheceria porque, além dos tipos armazenados em sua memória, conhece a funcionalidade que a torna uma cadeira. O sistema *cadeira* construído em sua cabeça obedece à definição acima. Ou seja, é uma coleção de objetos, como pés, assento, encosto, eventualmente descanso dos braços, etc., que a torna uma cadeira, desde que **relacionados adequadamente**. Não basta juntar todos os componentes; sem a adequada organização, não formariam uma cadeira.

Pode-se utilizar esse mesmo raciocínio com um computador de mesa: ele só funciona se as relações entre os componentes forem adequadas. As peças, estruturadas de outra maneira, não teriam a funcionalidade de um computador.

Uma visão de mundo pode conter inúmeros sistemas. Todos, entretanto, são construções mentais que, eventualmente, tentam representar sistemas físicos. Diz-se eventualmente porque é possível construir mentalmente um sistema que ainda não existe fisicamente,

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

podendo mesmo nem vir a existir. Quando se adquire um terreno com a intenção de construir-se uma edificação (casa, garagem, estabelecimento comercial, etc.), contrata-se um arquiteto que fará o projeto a ser submetido à aprovação do dono. O arquiteto imagina como será a edificação quando (e se) for construída. Ficcionalistas constroem sistemas de teletransporte, por exemplo, e módulos para viagens intergalácticas que poderão (ou não) vir a existir.

A visão de mundo também contém construções mentais que não se enquadram na definição de sistema. Basta que se peguem objetos que não guardam relações entre si suficientemente adequadas para formarem uma unidade com funcionalidade capaz de satisfazer tal definição. É por essa razão que **nem toda construção mental é um sistema, embora todo sistema seja uma construção mental.**

Para se conceber um sistema, há que, primeiro, ter-se a intenção. Isso significa que uma pessoa pode construir um sistema a partir de uma coleção de objetos satisfazendo uma destinação prévia. Outra pessoa, com os mesmos objetos à sua disposição, poderá não construí-lo, ou porque não o acha relevante ou porque não consegue visualizar as relações necessárias.

Veja o computador de mesa conhecido como ALL-IN-ONE, em que, aparentemente, falta o gabinete, onde deveria ter a CPU, o disco rígido, etc. Tão logo o observador desavisado descubra que as peças faltantes estão embutidas no que ele considera um "monitor", reconhecerá o conjunto como computador - descobrirá nele o sistema.

3.2 Comunicação Observador-Observador

Os sistemas que compõem parte da visão de mundo do observador também são individuais e únicos. Este fato é benéfico, pois a soma de visões de mundo distintas, quando disponíveis a outras pessoas, pode fazê-las refletir mais sobre o mundo que as cercam e, assim, contribuir para a evolução do conhecimento geral sobre o mundo. Muito bem, mas **se todo sistema (que é construído**

mentalmente) é individual e único, como posso saber como é o sistema construído pela mente de outro observador?

Em primeiro lugar, só existe comunicação entre pessoas se houver uma **língua** comum, isto é, se falarem a mesma linguagem, ou for estabelecido um protocolo de comunicação que permita a comunicação entre ambos.

Grosso modo, existem dois tipos de linguagem: (a) **língua natural** e (b) **língua formal**. A língua natural é a que se fala em nosso dia-a-dia, fixada pela tradição das culturas com base na competência linguística. Cada sentença na língua natural pode permitir mais de uma interpretação. Ocorre-me a sentença que um amigo, Prof. Dr. Antonio Eduardo Costa Pereira, da Universidade Federal de Uberlândia, citou como exemplo, quando tive a honra de ser docente lá: **o astrônomo casou-se com a estrela**. Se a estrela da sentença se referir a um astro celeste, a frase significa que o profissional da astronomia dedica-se exclusivamente ao estudo do astro luminoso; no entanto, se a palavra estrela se referir a uma atriz de cinema, o verbo casar significará que a desposou. Quase sempre eliminamos essas ambiguidades em um raciocínio espontaneamente inferencial e probabilístico, com base em informações circunstanciais ou no conhecimento que temos do mundo: se lemos que Goya, Ingres e Delacroix "pintavam nus" dificilmente imaginariamos esses artistas despidos empunhando pincéis¹⁵.

Já, na língua formal, cada sentença só pode ter uma única interpretação. É o caso de todas as linguagens de computadores, como Java, C, PROLOG, LISP, etc., embora haja tentativas de conseguir-se, com uma ou outra delas, processar linguagem natural, via Inteligência Artificial.

Convenhamos: do ponto de vista humano, a língua natural é muito mais bonita.

Voltando à questão anterior: como, então, posso conhecer o sistema que outro observador construiu mentalmente? Usar a língua

¹⁵ Contribuição do Prof. Nilson Lemos Lage.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

natural, cada sentença de sua explanação pode levar a varias interpretações. Por outro lado, como poderíamos usar uma língua formal? E que língua seria essa?

Felizmente a criatividade humana já produziu linguagens formais para esse fim que, mesmo não conseguindo transmitir (com riqueza de detalhes) o sistema construído mentalmente de um observador para outro, o faz nos aspectos mais relevantes: o receptor da informação poderá modificar tal sistema de acordo com a estrutura cognitiva ditada por sua ontogenia. Com o diálogo entre eles, conseguirão construir mentalmente sistemas individuais bem próximos um do outro. E basta. Ao final, os dois podem usar a mesma língua formal para comunicar seus sistemas para outros observadores, continuando o processo.

Mesmo se fosse possível bater-se uma fotografia do sistema construído por outro observador, o receptor da informação o modificaria para ajustar-se à sua visão de mundo. Enfim, apenas alguns aspectos de um sistema são importantes em uma comunicação entre observadores. E isso as línguas formais conseguem. Fluxograma, DFD, organograma, etc., são exemplos de línguas formais capazes de facilitar a comunicação entre construtores mentais de sistema.

3.3 Representação Hierárquica de Sistema

Há várias maneiras de se representar sistema. Depende do uso que irá ser feito da representação. Gostaria de abordar uma maneira bem simples de representação relevante para ilustrar a hierarquia existente entre os componentes e o sistema que formam. Considere o exemplo da molécula de água acima referido e observe a Fig. 3.1.

A representação do sistema molécula de água ilustrada na figura contém dois níveis. O primeiro, representado pela elipse inferior e o segundo, pela elipse na parte superior da figura. Veja que os objetos constituintes do sistema molécula de água (os átomos de hidrogênio e o de oxigênio) estão representados no nível inferior (a

elipse de baixo) e o sistema (molécula de água) está representado no nível superior. É assim de propósito nesta língua formal. A molécula de água, enquanto sistema, só existe enquanto houver os dois átomos de hidrogênio e o de oxigênio, com as relações atômicas existentes entre si.

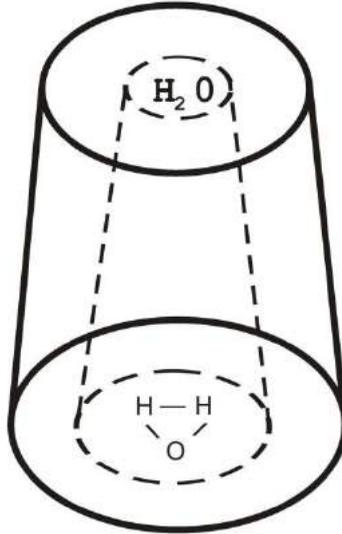


Fig. 3- 1: Molécula de água

Ao nível superior (onde se encontra a molécula de água representada), dá-se o nome de nível de sistema, enquanto que para o nível inferior o nome atribuído é nível de subsistema. Na Fig. 3.2, a água que estava no nível de sistema passou a fazer parte do nível de subsistema que, junto com o sal e as relações químicas entre os dois, formam um novo sistema, na figura denominado água salgada (aqui abreviada como AgSa). Note que se usou a mesma língua formal para representar-se outro tipo de sistema. Note também que a construção mental feita por um observador poderia incluir um vasilhame, digamos um copo de vidro, mas isso foi omitido quando o

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

mesmo passou a informação para outro observador via essa língua formal. Este outro poderia construir mentalmente outro tipo de vasilhame, por exemplo, uma xícara. Como a intenção era mostrar o sistema água salgada, esse detalhe tornou-se irrelevante e pôde ser excluído.

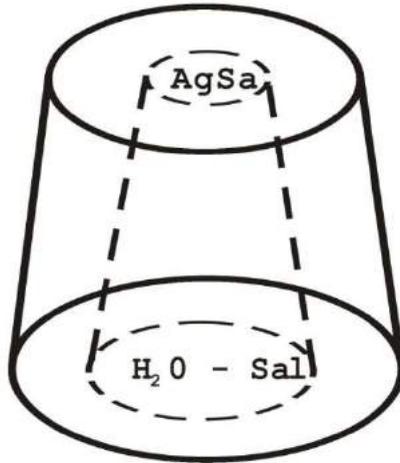


Fig. 3- 2: Água salgada

Cada nível de representação obedece a uma hierarquia. O nível de subsistema está em um nível imediatamente inferior ao nível de sistema. Em outras palavras, o nível de sistema está imediatamente superior ao de subsistema. É comum representar-se ainda um terceiro nível, o de supersistema, conforme ilustrado na Fig. 3.3. O nível de supersistema está imediatamente superior ao de sistema. E este último imediatamente superior ao de subsistema. É preciso ressaltar que o número de níveis, pelo menos em princípio, é ilimitado. Tanto pode crescer quanto decrescer indefinidamente. No entanto, ao estudar-se um sistema, é aconselhável abordar apenas três, para evitar-se dispersão analítica. Por exemplo, quando se estiver tratando de um sistema como sala de jantar, é aconselhável abordar-se seus

componentes com as respectivas relações (nível de subsistema) e dos demais cômodos que, inter-relacionados com a sala em questão, compõem a própria residência (nível de supersistema). No sistema computador, os componentes constituem o subsistema e a rede de computadores, supersistema.

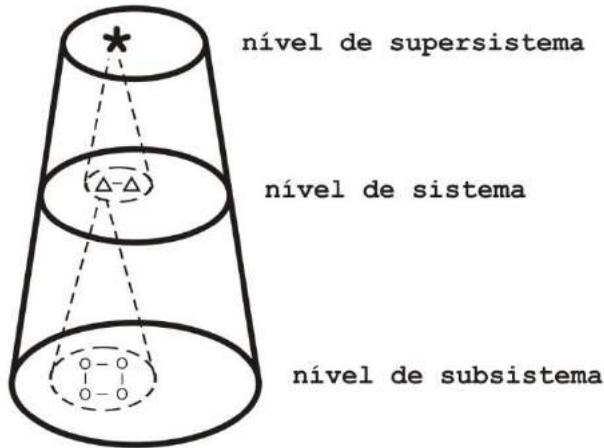


Fig. 3- 3: Três níveis hierárquicos

3.4 Emergência e Teleologia

Um sistema pode ser construído, basicamente, de duas formas: (a) por **emergência** e (b) por **teleologia**. O conceito de emergência é hoje uma importante área de estudo, mas aqui será usado de modo específico, a formação de sistemas. Diz-se **emergente** quando o sistema surge ao acaso, fruto de uma casualidade, ao passo que um sistema é chamado de **teleológico** quando foi projetado e construído com essa finalidade - alguém, um projetista, o concebeu. Para os criacionistas, por exemplo, o ser humano é um sistema teleológico, "criado por Deus, à sua imagem e semelhança". Já para os

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

evolucionistas, o ser humano é fruto de uma série fortuita de acontecimentos da evolução via seleção natural.

Uma favela, em geral, é um sistema não planejado, oriundo de ocupação; portanto, um sistema emergente. Já a cidade de Brasília, pelo menos o chamado Plano Piloto, foi projetada (Lucio Costa e Niemayer), e é por isso um sistema teleológico. A Fig. 3.4 ilustra um sistema emergente (bottom-up), ou seja, que nasce de baixo para cima. Os subsistemas se relacionam de tal sorte que fazem emergir um todo com alguma funcionalidade, mas sem planejamento. O ser humano, do ponto de vista da **Teoria da Evolução Via Seleção Natural**, de **Darwin** (1981), é resultado de um processo deste tipo, portanto, um fenômeno emergente.

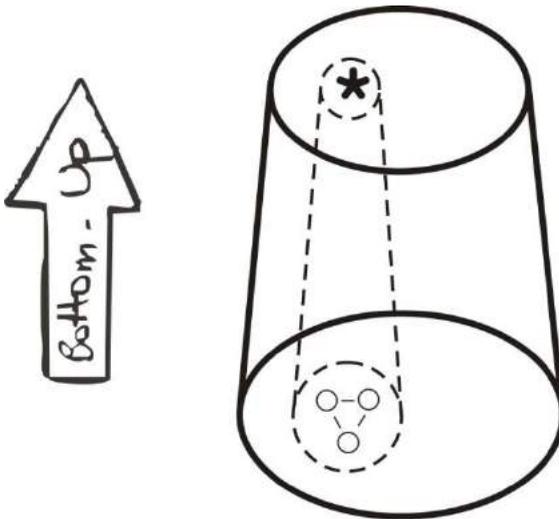


Fig. 3- 4: Sistema emergente bottom-up.

A Fig. 3.5 ilustra um sistema teleológico (top-down), isto é, um sistema planejado e construído exatamente com este objetivo.

Um estádio de futebol, uma peça do vestuário, um automóvel, um jardim bem cuidado, **o comportamento de um inseto voador à noite procurando uma fonte luz é um fenômeno (não um sistema)**

teleológico, pois é dirigido pelo objetivo de alcançar a luz, etc. A ferrugem em uma peça metálica não é teleológica, mas sim emergente: surge ao acaso, assim como um arco-íris no céu, a chuva, a média das notas dos estudantes em uma sala de aula, etc.

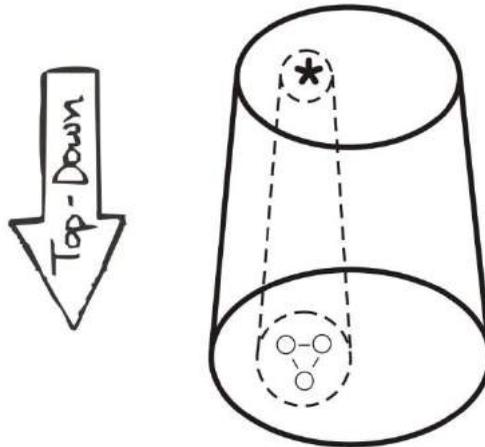


Fig. 3- 5: Sistema teleológico ou top-down.

Henri Atlan (2004), em seu belíssimo texto "Viver e conhecer", descreve a emergência da consciência, por uma auto-organização de neurônios: **"um conjunto de células (neurônios) pode se auto organizar e apresentar propriedades cognitivas (consciência) mesmo que nenhum destes neurônios conheça nem compreenda o que quer que seja"**, Segundo Atlan, a consciência atende à definição de sistema, porque decorre de uma coleção de neurônios organizados de maneira tal que formam um todo com funcionalidade específica: **a consciência, portanto, pode ser considerada como um sistema emergente**. A funcionalidade cognitiva, a capacidade de aprender que apresenta, não é observada nos neurônios, simples células especializadas que compõem o sistema nervoso central humano.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Há, ainda, uma terceira forma de construção de sistema, na qual não se pode afirmar que o sistema obedece exclusivamente o caráter emergente nem tampouco teleológico. São os chamados sistemas mistos. Eles ocorrem quando, por exemplo, um sistema que seria emergente recebeu uma "ajudazinha" com alguma finalidade. É o caso da inseminação artificial: o ser vivo resultante desse processo não pode ser considerado exclusivamente emergente. Uma favela, originalmente emergente porque fruto de ocupação desordenada, ao receber tratamento de esgotos, urbanização, etc., é outro exemplo de sistema misto.

O mesmo vale para sistemas, originalmente teleológicos, que deixam de receber aportes de manutenção necessária à sua continuidade como tal. Uma edificação desocupada, portanto, sem a manutenção devida, pode, ao longo do tempo vir a transformar-se em abrigo para roedores, insetos, etc., vindo a tornar-se um sistema misto.

De qualquer forma, os conceitos de emergência e teleologia são importantes para uma melhor compreensão da forma de construção de sistemas, em geral.

3.5 Organização como Sistema

Qualquer organização é passível de ser construída mentalmente como sistema, seja uma célula, uma empresa, um artefato (automóvel, avião, etc.), um nicho ecológico, um organismo, um time de futebol (incluindo seu banco de reservas, técnico, etc.). Essas organizações cabem na definição de sistema porque podem ser caracterizadas como coleções de partes inter-relacionadas perfazendo um todo (totalidade, unidade) com alguma funcionalidade.

No caso de uma cadeira enquanto sistema (organização), Maturana e Varela (2003, p. 50) são didáticos:

Para que eu julgue esse objeto como sendo uma cadeira, é necessário que reconheça que certas relações acontecem entre as partes que chamo de pés, espaldar, assento, de tal maneira que é possível sentar nela. Que seja feita de madeira, com pregos, ou de plástico e parafusos, é inteiramente irrelevante para que eu a qualifique ou classifique como cadeira. Essa situação – na qual reconhecemos implícita ou explicitamente a organização de um objeto ao indicá-lo ou distingui-lo –, é universal, no sentido de que é algo que fazemos constantemente como um ato cognitivo básico. Este consiste em nada mais nada menos que gerar classes de qualquer tipo. Assim, a classe das cadeiras ficará definida pelas relações que devem ser satisfeitas para que eu classifique algo como cadeira. (...) É simples apontar para uma determinada organização ao indicar os objetos que formam uma classe. Mas pode ser complexo e difícil descrever com exatidão e de modo explícito as relações que constituem tal organização.

O fato de ser complexa e difícil a descrição exata e explícita das relações que constituem uma organização (sistema) não implica que não a reconheçamos como tal. Além disso e, apesar da altamente provável dificuldade de explicitar todas as relações entre as partes, é possível explorar tal organização (sistema) através de um conhecimento razoável sobre ela, o que permite trabalhar-se com alguns tipos de indicadores de seu estado em um determinado instante de tempo, permitindo acompanhar sua evolução ao longo do tempo. Esses indicadores são as **variáveis de estado** da organização ou do sistema. O estado de um sistema é tema de um capítulo próprio ainda neste texto.

A Organização das Nações Unidas é um sistema de altíssima complexidade. Mesmo assim, não é difícil reconhecê-la como sistema, vê-la funcionando e até mesmo averiguar os limites de suas funcionalidades: basta, neste caso, considerar o que tem acontecido nos constantes conflitos no Oriente Médio, em que se evidencia a inviabilidade de conter a realidade angustiante da **lei do mais forte**.

Uma vez concebido o sistema, isto é, quando a construção mental resulta em um sistema, é hora de sintetizá-lo ou resumi-lo. Como não se dispõe de uma descrição exata e explícita do sistema,

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

qualquer que seja ele, buscam-se os aspectos mais relevantes para o estudo pretendido. Pode-se escrever seus componentes; se estes forem muitos, concentrar-se nos mais importantes. Averiguar as relações entre eles. É imperativo descrever pelo menos uma funcionalidade (se é que é possível mais de uma) porque, sem isso, não há como caracterizá-lo como sistema. Trata-se, em seguida, de classificá-lo, se é aberto ou fechado, emergente ou teleológico.

O sistema poderá ser representado de forma hierárquica, usando a língua formal ilustrada na Fig. 3-3, destacando alguns dos subsistemas e, pelo menos, um de seus possíveis supersistemas. A partir da descrição do ambiente no qual o sistema mantém sua(s) funcionalidade(s), cuida-se de destacar diferenças, de modo a deixar claro o que pertence ao sistema e o que pertence ao ambiente. Uma descrição sucinta juntará todas as etapas até então conseguidas. O procedimento deverá ser repetido até que se consiga a melhor síntese ou resumo do sistema em questão.

Em um primeiro momento, quem se inicia nesse tipo de pesquisa, esbarrará em dificuldades numa ou em outra etapas. Na medida em que se vão realizando tais exercícios, adquire-se maior proficiência. Um bom conselho aos iniciantes é começar com o sistema para o qual exerce suas atividades, seja uma empresa (micro, pequena, média ou grande), uma universidade, um colégio, um time de futebol, uma igreja, uma associação de classe, etc.

4 CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS

Quando um espaço se divide em dois, nasce um universo: define-se uma unidade. A descrição, a invenção e a manipulação de unidades estão na base de toda indagação científica.

Maturana e Varela (2003)

Nos capítulos anteriores foram discutidos, resumidamente, temas relacionados, direta ou indiretamente a sistemas. Neste capítulo serão expostas suas principais características. O objetivo é fornecer as bases para o desenvolvimento e exploração de uma visão sistêmica por parte do leitor interessado em estudos interdisciplinares. Para maior formalismo conceitual, ao leitor é sugerida, novamente, bibliografia mais específica, como Zadeh e Polak (1969).

4.1 Sistema, Fronteira, Ambiente e Observador

A descrição de sistemas por seus aspectos mais relevantes, sob o ponto de vista de seu construtor é, de modo geral, o que interessa para efeitos de análise e síntese.

Considere-se um bebê que apresenta febre. Embora o organismo da criança possa ser acessado por uma infinidade de variáveis, aqui será tratado como dois sistemas simples:

- a) o sistema-bebê, sob o ponto de vista da monitoração da temperatura (como prevenção de provável estado febril) por parte de sua mãe: apenas uma variável lhe é relevante (a temperatura do corpo);
- b) o sistema-bebê, na visão de um plantonista de UTI: pelo menos quatro variáveis serão monitoradas - temperatura do corpo, pressão arterial, ritmo dos batimentos cardíacos e função respiratória.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Tudo depende da perspectiva do observador, da sua relação com o organismo que considera como sistema. Em cada caso, o nível de providências a ser tomadas e a natureza delas dependem da aferição das variáveis consideradas. Observe que, nos dois casos, o paciente é o mesmo ser humano; mais de um sistema foi construído a partir dele.

Conclusão: para o mesmo fenômeno físico, é possível construir-se mais que um sistema - depende da intenção de quem o constrói mentalmente.

Não importa qual seja o caso, o **sistema** está imerso em um **ambiente**, o que significa que há uma **fronteira** entre os dois, algo que caracteriza a separação entre eles, pois do contrário não seria possível identificá-los. No caso do bebê, sua pele pode ser considerada a fronteira entre o sistema e seu ambiente. O agente que concebe o sistema e seu ambiente, identificando a fronteira entre os dois, é chamado de **observador**. A importância do **observador** é tanta que, sem ele, não há como conceber-se **sistema** em um **ambiente**. É o observador quem divide um espaço (físico ou virtual) em uma unidade funcional (sistema) e ambiente, estabelecendo a fronteira entre os dois.

O instinto de sobrevivência dotou animais da capacidade de estabelecimento de fronteira entre sistema e ambiente. Tal capacidade os permite identificar outro ser vivo como alimento (caça) ou como ameaça à sua sobrevivência (predador): isolou o sistema do ambiente, estabelecendo a fronteira.

O observador (ser humano, neste texto) pode estar no sistema, no ambiente ou mesmo fora dos dois. Estará alocado fisicamente no sistema desde que faça parte dele; do ambiente, se nele estiver. Estará fisicamente fora do sistema e do ambiente quando concebe um sistema que ainda não existe; neste caso, o fenômeno da observação é pura abstração. A capacidade de abstração permite ao observador ter uma visão panorâmica do sistema, do ambiente e da fronteira que os separa; é como se os observasse sempre de um ponto de vista externo aos três (sistema, ambiente, fronteira), Fig. 4-1.

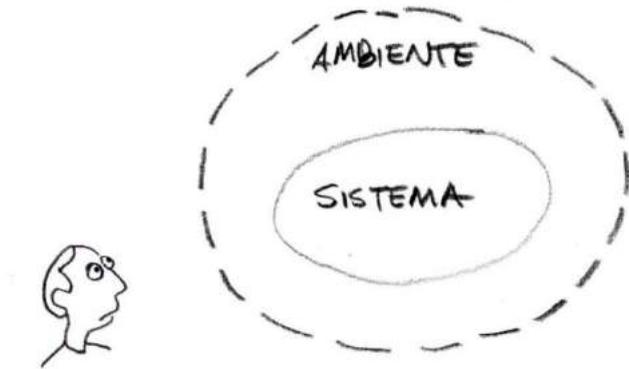


Fig. 4-1: Sistema, fronteira, ambiente e observador. Para o observador, a linha contínua representa a fronteira do sistema com o ambiente; a linha tracejada indica que não há fronteira externa ao ambiente.

Tome-se uma empresa, por exemplo. Um funcionário (colaborador, para usar o jargão atual) poderá reconhecê-la como um sistema, distingui-la de seu ambiente e identificar a fronteira que os separa; neste caso tem uma visão panorâmica própria. Um cliente dessa mesma empresa, situado no ambiente e não no sistema poderá, da mesma forma, identificar sistema, ambiente e fronteira. E, por último, pode haver a figura do observador externo à empresa e ao ambiente. Independentemente de sua localização, o ponto de vista do observador resulta sempre de sua capacidade de abstração.

A fronteira delimitadora faz parte intrínseca do sistema e tem grande importância. É ela, por exemplo, que determina se o sistema pode ou não trocar informação/energia com o ambiente. Uma fronteira fechada, caracteriza um **sistema fechado**; se aberta, o caracteriza como **sistema aberto**. Em um sistema fechado, sua entropia tende a crescer, o que levará o sistema ao colapso.

Um exemplo trivial ilustra o caso de uma fronteira fechada. Pegue um toco de vela, acenda-o e cole em um prato. Coloque um pouco de água no prato e, em seguida, coloque um copo de boca para baixo deixando a vela acesa. Após alguns segundos a chama da vela

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

se apaga. A chama necessita de oxigênio para continuar acesa: como o copo e a água (constituindo a fronteira fechada) não permitem aporte adicional de oxigênio, ele logo se esgotará e a chama não terá mais como se sustentar. É um sistema fechado, portanto.

Um exemplo interessante de sistema aberto é a célula, ou a menor unidade de matéria viva que pode existir de maneira independente, e ser capaz de reproduzir-se. Sobre a célula, Maturana & Varela (2003, p. 59) nos ensinam que

A membrana celular desempenha um papel muito mais rico e diversificado do que uma simples linha de demarcação espacial de um conjunto de transformações químicas, porque participa da célula como os demais componentes. O interior da célula contém uma magnífica arquitetura composta de grandes blocos moleculares, através dos quais transitam múltiplas espécies orgânicas em contínua mudança. Do ponto de vista operacional a membrana faz parte desse interior, o que é correto tanto para as membranas que limitam os espaços celulares adjacentes ao meio exterior, quanto para as que limitam cada um dos diversos espaços internos da célula. (...).

Essa arquitetura interior e a dinâmica celular constituem, como já destacamos, faces de um mesmo fenômeno de autoprodução. Assim, por exemplo, dentro das células existem organelas especializadas como as mitocôndrias, em cujas paredes se situam, em sequências espaciais precisas, enzimas que, na membrana mitocondrial, se comportam como verdadeiras cadeias transportadoras de elétrons. Esse processo constitui a base da respiração celular.

Se a célula fosse um sistema fechado, como poderia haver a "respiração celular"? Como poderia haver trocas com o ambiente? As especificidades dessa troca de informação/energia entre sistema e ambiente dependem de suas estruturas, discutidas a seguir.

4.2 Estruturas do Sistema e do Ambiente

Neste texto, estrutura é definida segundo o Novo Dicionário Aurélio (FERREIRA, 2009): "A disposição dos elementos ou partes de um todo; a forma como esses elementos ou partes se relacionam

entre si, e que determina a natureza, as características ou a função ou funcionamento do todo: a estrutura de uma empresa".

Todo sistema possui sua própria estrutura. E é esta estrutura que dita a dinâmica de seu comportamento. O ambiente, no qual o sistema está inserido, também possui sua estrutura intrínseca, responsável por ditar seu comportamento.

Tanto um carro de Fórmula 1 quanto um aeroplano podem alcançar velocidades próximas a 300 km/h. No entanto, apenas o aeroplano é capaz de decolar e voar. A razão é que a estrutura do aeroplano o permite, o que não acontece com o carro de Fórmula 1, cuja estrutura é feita justamente para que não decole e não voe. Um helicóptero também consegue decolar e voar mas, devido a sua estrutura ser diferente da de um aeroplano, decola na vertical.

Todo sistema é único. Em outras palavras, é praticamente impossível haver sistemas exatamente iguais. Cada sistema possui sua própria estrutura e esta é diferente da estrutura de qualquer outro sistema, por menor que seja tal diferença. E, quanto maior a diferença estrutural, mais diferente será seu comportamento frente aos mesmos fenômenos externos. Vamos a alguns exemplos ilustrativos.

Há automóveis cujo consumo de combustível é, digamos, 16 km/l, enquanto outros podem não passar de 10 km/l. A diferença está nas estruturas dos dois veículos. Mesmo que os dois veículos sejam de marca, modelo e ano iguais, ainda assim, seu consumo médio será diferente: não há dois com a mesma regulagem, o mesmo desgaste em todas as peças, o mesmo passado operacional, etc. Como se disse, por menor que seja a diferença, ela existe. Tanto no objeto físico quanto no sistema criado por uma mente consciente.

Abalos sísmicos de grandes dimensões, em geral, provocam efeitos devastadores. Mas, tais efeitos diferem dependendo da estrutura do ambiente onde ocorrem. Se o abalo acontecer no fundo do mar, pode dar origem a tsunamis - ondas gigantes capazes de viajar milhares de quilômetros a velocidades próximas a 800 km/h.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

No entanto, se ocorrer em terra firme, as ondas de choque devastadoras podem se restringir a poucos quilômetros do epicentro. Os dois ambientes têm estruturas distintas.

A atmosfera terrestre possui uma estrutura relativamente frágil. Composta de gases em proporções que variam, mas não muito, permitiu a evolução das espécies em poucos bilhões de anos. Eventos naturais, como erupções de vulcões e, talvez, como fator agravante ou deflagrador, o uso abusivo de combustíveis fósseis e a destruição de áreas vegetais terrestres e marítimas (o plancton) poderão comprometer, como se especula, a existência da vida na Terra. A estrutura da atmosfera pode não suportar essas mudanças extremas.

A estrutura de uma empresa de sucesso é razoavelmente bem definida. Mas não pode ser imutável, pois seu ambiente - o mercado, destacadamente - pode lhe impor demandas que exigirão mudança estrutural; sustentabilidade e responsabilidade social são exemplos claros na atualidade recente. Há casos de empresas que firmaram parcerias com comunidades extrativistas, agregando valor ao seu trabalho com vistas à inclusão social. Neste tipo de parceria, se bem executada e fiscalizada, pode ocorrer o que, em **Teoria dos Jogos**, é chamado **jogo de soma positiva**, onde todos ganham (SIMON, 1990, p. 161). Ganha a empresa pela resposta positiva do mercado; a comunidade, pela agregação de valor a seu trabalho com consequente aumento de sua remuneração e inclusão social; e o ambiente pelo potencial esforço de sua preservação. Neste exemplo, os três sistemas sofrem mudança estrutural: a empresa, a comunidade e o ambiente.

Em condições normais, o pé direito de um motorista é usado para controlar a velocidade do veículo. Para isso usa o pedal do acelerador ou o do freio. Tanto o acelerador quanto o freio são sistemas, seus respectivos pedais fazem parte de suas fronteiras com o ambiente. Quando o motorista pisa no pedal do freio tem a intenção de reduzir e, quando o faz no pedal do acelerador, pretende

aumentar a velocidade do carro. Isto significa que o sistema de frenagem e o sistema de aceleração exibem comportamentos diferentes frente à mesma mudança ambiental, uma simples pisada em seu pedal correspondente. Uma falha, em qualquer um desses dois sistemas, nada mais é do que uma mudança em sua estrutura.

Tanto o sistema de frenagem quanto o de aceleração são teleológicos, pois foram concebidos, projetados e construídos para exibir dado comportamento. Considerando-se que não haja mudança em sua estrutura, o sistema exibirá o comportamento para o qual foi construído. Uma mudança estrutural pode fazer com que o sistema apresente mudança não esperada em seu comportamento. Nos ensinam Maturana e Varela (2003, p. 109),

Com efeito, em nossa vida cotidiana atuamos como se tudo o que encontramos fossem unidades estruturalmente determinadas. O automóvel, o gravador, a máquina de costura ou o computador, são sistemas com os quais lidamos como se tivessem uma determinação estrutural. Se assim não fosse, como explicar que, quando surge um defeito tentamos modificar-lhes a estrutura e não outra coisa? Se, quando pisamos no acelerador do carro, descobrimos que ele não avança, nenhum de nós imagina que algo está errado com o pé que pisa. Supomos que o problema está no acoplamento entre o acelerador e o sistema de injeção de combustível, ou seja, na estrutura do veículo.

Mas nem sempre é este o caso descrito por Maturana e Varela, em que uma mudança na estrutura de um sistema pode levá-lo a perder sua funcionalidade. Há sistemas com estruturas variáveis, como descrito por Utkin (1978), cuja funcionalidade depende exatamente de tais variações na estrutura. O fato é que o comportamento de um sistema depende de sua estrutura, seja esta fixa ou variável, e das perturbações ocorridas no ambiente que o contém, que podem vir a desencadear mudanças em sua estrutura. Para leitura rica adicional sobre estrutura de um sistema, é recomendada a leitura do livro **Emergence and Convergence:**

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

qualitative novelty and the unity of knowledge (BUNGE, 2003, p. 19). Aliás, Bunge traz nova luz à Teoria Geral de Sistemas mas, neste texto não serão abordados os tópicos inovadores de Bunge, em face do caráter didático e introdutório aqui proposto.

Toda estrutura, seja de um sistema ou de seu ambiente, tem (como visto) sua dinâmica própria. Mudanças estruturais podem ocorrer de várias formas: umas abruptamente, outras exigindo longos períodos de tempo. Nos seres vivos, essas mudanças ocorrem durante a reprodução (via mutação genética), abrindo espaço para a **seleção natural**. A exigência de longos períodos de tempo para as mudanças estruturais, neste caso, é fato banal; já nos artefatos, mudanças estruturais podem ser mais rápidas.

4.3 Acoplamento Estrutural

Um sistema (assim como o seu ambiente) é uma unidade estruturalmente determinada, que pode ser modificada a qualquer instante. Tais mudanças, segundo Maturana e Varela (2003, p. 110), são especificadas em quatro domínios:

1. **Domínio das mudanças de estado:** isto é, as mudanças estruturais que uma unidade pode sofrer sem que mude sua organização, ou seja, mantendo a sua identidade de classe;
2. **Domínio das mudanças destrutivas:** todas as modificações estruturais que resultam na perda da organização da unidade e, portanto, em seu desaparecimento como unidade de uma certa classe;
3. **Domínio das perturbações:** ou seja, todas as interações que desencadeiam mudanças de estado;
4. **Domínio de interações destrutivas:** todas as perturbações que resultam numa modificação destrutiva.

Nos domínios das mudanças de estado e das perturbações, o sistema (bem como seu ambiente) mantém sua identidade de classe, isto é, continua a ser considerado como tal. Nos domínios das

mudanças destrutivas e de interações destrutivas, o sistema deixa de existir como tal e não serão abordadas neste texto.

O ambiente de um sistema também pode ser destruído. Um exemplo disso é um aquário com peixes ornamentais: vazamento ou falta de oxigenação da água podem fazer os peixes morrerem, porque seu ambiente foi destruído.

Na verdade, os quatro domínios citados pelos autores valem para mudanças estruturais tanto no sistema quanto no ambiente.

Mudanças estruturais ou perturbações no ambiente não geram um conjunto de instruções para as mudanças que devem ocorrer no sistema. O máximo que podem fazer é **desencadear um processo de mudanças no sistema, determinadas unicamente por sua estrutura**. Da mesma forma, mudanças estruturais ou perturbações no sistema não geram um conjunto de instruções para as mudanças que devem ocorrer no ambiente; apenas podem desencadear mudanças em sua estrutura. Segundo Maturana e Varela, (2003, p. 112), "Num sistema dinâmico estruturalmente determinado, já que a estrutura está em contínua mudança, seus domínios estruturais também sofrem variação, mas a cada momento sempre estarão especificados por sua estrutura presente".

Os autores observam ainda que a constante mudança em seus domínios são "um traço próprio da ontogenia de cada unidade dinâmica, seja ela um toca-fitas ou um leopardo". Ambos, claro, colocados na rubrica de sistemas. E é neste ponto que definem o conceito de **acoplamento estrutural** (MATURANA; VARELA, 2003, p. 112):

Enquanto uma unidade não entrar em interação destrutiva com seu meio, nós, observadores, necessariamente veremos que entre a estrutura do meio e a da unidade há uma compatibilidade ou comensurabilidade. Enquanto existir essa comensurabilidade, meio e unidade atuarão como fontes de perturbações mútuas e desencadearão mutuamente mudanças de estado. A esse processo demos o nome de **acoplamento estrutural**.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

O conceito de **acoplamento estrutural**, criado por Maturana e Varela, expõe claramente a interdependência de um sistema com seu meio. É a **adaptação de um sistema ao seu meio**. Se aplica à **adaptação biológica**, de Darwin, à **adaptação intelectual**, de Piaget, à adaptação utilizada na área de automação, ou mesmo à adaptação de uma empresa em um mercado específico.

O conceito de acoplamento estrutural, portanto, abrange sistemas, em geral, embora o objetivo primário dos autores tenha sido a abordagem do ser vivo (MATURANA; VARELA, 2003, p. 107-108):

A história das mudanças estruturais de um dado ser vivo é sua ontogenia. Nessa história todo ser vivo começa com uma estrutura inicial, que condiciona o curso de suas interações e delimita as modificações estruturais que estas desencadeiam nele. Ao mesmo tempo, o ser vivo nasce em um determinado lugar, num meio que constitui o entorno no qual ele se realiza e em que ele interage, meio esse que também vemos como dotado de uma dinâmica estrutural própria, operacionalmente distinta daquela do ser vivo. Isso é crucial. Como observadores, distinguimos a unidade que é o ser vivo de seu pano de fundo, e o caracterizamos com uma determinada organização. Com isso, optamos por distinguir duas estruturas, que são consideradas operacionalmente independentes entre si – o ser vivo e o meio – e entre as quais ocorre uma congruência estrutural necessária (caso contrário, a unidade desaparece). Nessa congruência estrutural, uma perturbação no meio não contém em si uma especificação de seus efeitos sobre o ser vivo. Este, por meio de sua estrutura, é que determina quais as mudanças que ocorrerão em resposta.

Considere-se a primeira parte da citação acima: **A história das mudanças estruturais de um dado ser vivo é sua ontogenia. Nessa história todo ser vivo começa com uma estrutura inicial, que condiciona o curso de suas interações e delimita as modificações estruturais que estas desencadeiam nele.** Com cuidado e prudência que este caso requer, é possível estender esta afirmativa para sistemas em geral.

A Fig. 4-2 foi concebida com o intuito de ilustrar o conceito de acoplamento estrutural, isto é, a interdependência entre qualquer

sistema e seu ambiente, bem como a fronteira que os separa. Importante ressaltar que este fenômeno precisa de um observador cuja construção mental o leva à compreensão ilustrada na referida figura.

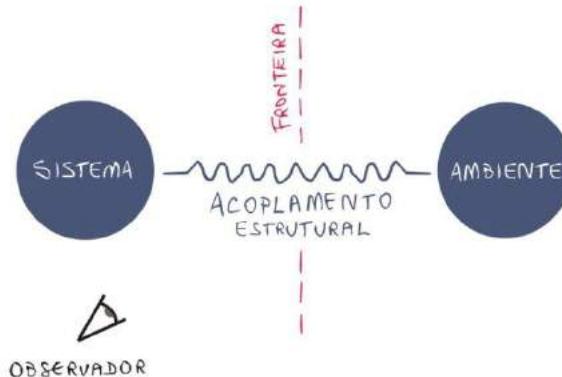


Fig. 4-2: Acoplamento estrutural sistema-ambiente.

A estrutura (inicial) com a qual o peixe nasce condiciona o curso de suas interações e delimita as modificações estruturais que estas nele desencadeiam ao longo de sua vida: por não ter pulmão, não sobrevive fora d'água.

Sejam os exemplos do carro e do aeroplano. Ao contrário do aeroplano, a estrutura inicial do carro não lhe permite voar, por mais que mudanças estruturais venham a ocorrer, desde que essas continuem mantendo a funcionalidade como carro. Como nos ensinam Maturana e Varela (1997, p. 69): **acrescentar algo a uma dinâmica estrutural é muito diferente de modificar as características essenciais de uma unidade, o que implica mudar a sua organização.**

Os autores distinguem claramente a estrutura do sistema e aquela de seu ambiente. E, como dizem, **isso é crucial**. A autonomia dessas estruturas faz com que no processo de interação, nenhum desses *players* (sistema e ambiente) possa determinar o tipo de mudança estrutural que venha a ocorrer ao outro. O máximo a se

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

conseguir é que, **uma mudança estrutural em um pode desencadear um processo de mudança no outro, e esta dependerá exclusivamente de sua estrutura** (MATURANA; VARELA, 2003, p. 108).

Essa interação não é instrutiva, porque não determina quais serão seus efeitos. Por isso, usamos a expressão 'desencadear' um efeito, e com ela queremos dizer que as mudanças que resultam da interação entre o ser vivo e o meio são desencadeadas pelo agente perturbador e 'determinadas pela estrutura do sistema perturbado'. O mesmo vale para o meio ambiente: o ser vivo é uma fonte de perturbações, e não de instruções.

Não é raro encontrar-se exemplos de empresas (aqui consideradas como sistemas) que passaram por mudanças estruturais desencadeadas por perturbações ambientais. Uma grande indústria, denunciada e levada a julgamento por trabalho escravo ou infantil vê suas ações em bolsa terem queda acentuada, e isso pode levá-la a tomar medidas internas (mudanças estruturais) para eliminar tal prática: o ambiente não deu instruções de que mudanças estruturais deveriam ocorrer (se demitir administradores, suprimir contratos de terceirização, cessar linhas de produção, etc.); elas ocorrem em conformidade com a sua estrutura vigente.

Cada estudante em uma sala de aula é uma unidade estrutural, uma organização, um sistema. Seus colegas, o professor e a sala de aula, dentre outras coisas, compõem o ambiente no qual está inserido. Certamente, o professor é a maior fonte de perturbação neste ambiente, mas não a única. O máximo que a perturbação causada pelo professor pode fazer é desencadear mudanças na estrutura mental do estudante. Isto, sem dúvida, significa que, apesar do esforço do professor (e da esperança que o idealismo pode levá-lo a ter), suas instruções apenas podem (ou não) provocar, tão somente, um desencadeamento do processo de aprendizagem do estudante. E este processo de aprendizagem é individual, isto é, depende de sua estrutura cognitiva, que é diferente da de qualquer colega seu.

Quando um conceito - que lhe está arraigado individual e particularmente - é apresentado pelo professor em uma sala de aula, cada estudante o apreende de forma particular, individual, única; jamais com a mesma riqueza de detalhes que a do mestre. Primeiro o estudante apreende o básico para, a partir daí, enriquecê-lo, mas sempre à sua maneira, de seu jeito, que depende de sua história de vida, de sua ontogenia, Fig. 4-3.

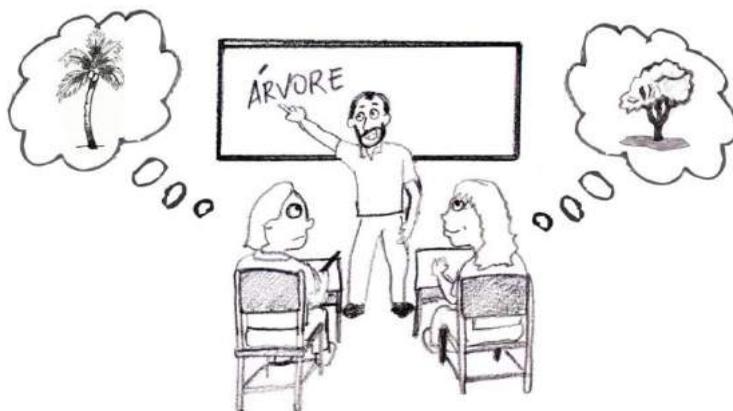


Fig. 4-3: Cada conceito apresentado pelo professor é apreendido de forma individual e única pelo estudante.

Essa diversidade de aprendizagem em uma sala de aula é que impulsiona novas descobertas. Se a avaliação da aprendizagem em uma classe não levar em conta essa diversidade, certamente terá problemas.

Portanto, não há como esperar-se que exatamente o mesmo nível de aprendizado ocorra em todos os estudantes de uma sala de aula. O melhor que se pode conseguir é estabelecer as melhores condições possíveis para estimular uma resposta positiva, ainda que não homogênea. Essa é a maior dificuldade de qualquer forma de avaliação de aprendizagem.

4.4 O Fenômeno da Adaptação

Se o acoplamento estrutural entre o sistema e seu ambiente mantém a invariância do sistema enquanto organização estruturalmente determinada (o que o caracteriza como tal), então diz-se que o sistema está adaptado ao seu ambiente. É desta forma simplificada que este texto considera o fenômeno da adaptação. No entanto, o autor recomenda leitura adicional sobre o tema: Darwin (1981), Dawkins (2009), Mayr (2009) para a **adaptação biológica** e, ainda, Piaget (1987), que define o conceito de **adaptação intelectual**, como o equilíbrio entre assimilação e acomodação, em seu livro *O Nascimento da Inteligência na Criança*.

A palavra adaptação possui várias conotações. No **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio** versão 6.0, de 2009 pode-se encontrar as seguintes interpretações:

[De adaptar + -ção.] Substantivo feminino.

1. *Ação ou efeito de adaptar(-se).*

2. *Biol. Ajustamento de um organismo, particularmente do homem, às condições do meio ambiente: A respiração pulmonar é uma adaptação à vida aérea, assim como a transpiração é uma adaptação ao calor.*

3. *Transformação de uma obra literária em representação teatral, cinematográfica, radiofônica ou televisionada: A opereta My Fair Lady é uma adaptação da peça teatral Pygmalion, do escritor irlandês George Bernard Shaw (1856-1950).*

4. *Uso de utensílio, objeto, peça, etc., para um fim diverso daquele ao qual se destinava: Este pé de lâmpada é adaptação de um antigo moinho de café.*

5. *Mús. Transformação de uma obra musical para servir a um novo fim. [Cf., nesta acepç., arranjo (6) e transcrição (5).]*

6. *Mús. Utilização de obras já existentes como ilustração musical de uma obra dramática, coreográfica ou cinematográfica.*

7. *Arquit. Acomodação de um complexo arquitetônico para novo uso mediante intervenções necessárias à nova função; reutilização.*

A razão para se empregar a palavra **adaptação** no sentido mais geral reside no caráter didático do texto e na circunstância de estar voltado para leitores interessados em estudos interdisciplinares.

Assim, pode-se afirmar que uma empresa está adaptada ao mercado que representa seu ambiente, ou seja, que o acoplamento estrutural dela com o mercado a está permitindo "sobreviver". Como, em geral, o ambiente sofre mudanças estruturais continuamente, a empresa pode não ser capaz de manter sua sobrevivência face a algum tipo de mudança ambiental que, por ventura, venha a ocorrer: o conjunto de fábricas de selas e chicotes encolheu rapidamente com a substituição da tração animal por veículos motorizados. Mas, também, pode ser capaz, como aconteceu com as emissoras de rádio quando o surgimento da televisão pôs fim à era do broadcasting. A saída encontrada pelo rádio - encolher e centrar-se no binômio música gravada e informação - não foi determinada pela mudança estrutural no ambiente, mas tão somente desencadeada por ela¹⁶.

A limitação de recursos e a própria dimensão do ambiente impõem limites à capacidade de adaptação de um sistema. Referindo-se a espécies biológicas, Darwin (1981, p. 70-71) nos ensina que

A luta pela sobrevivência resulta inevitavelmente da rapidez com que os seres organizados tendem a multiplicar-se. Todo indivíduo que, durante o estado natural da vida, produz muitos ovos ou muitas sementes, deve ser destruído em qualquer período da sua existência, ou durante uma estação qualquer, porque, de outro modo, dando-se o princípio do aumento geométrico, o número dos seus descendentes tornar-se-ia tão notável, que nenhuma região os poderia alimentar. Também, como nascem mais indivíduos que os que conseguem sobreviver, deve existir, em cada caso, luta pela sobrevivência, quer com outro indivíduo da mesma espécie, quer com indivíduos de espécies diferentes, quer com as condições naturais da vida.

¹⁶ Contribuição do Prof. Nilson Lemos Lage.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

[...]. Dos animais conhecidos, o elefante, ao que parece, é o que se reproduz mais lentamente. Fiz alguns cálculos para avaliar qual seria provavelmente o valor mínimo de sua reprodução em número. Pode-se, sem temor de engano, admitir que começa a reproduzir-se aos trinta anos, e que continua até aos noventa; neste intervalo, produz seis filhos, e vive por si mesmo até à idade de cem anos. Ora, admitindo-se estes números, entre setecentos e quarenta e setecentos e cinquenta anos, haveria dezenove milhões de elefantes vivos, todos descendentes diretos do primeiro casal.

A mortalidade do excedente (considerando-se a limitação na dimensão e de recursos do nicho ecológico) nos reinos animal e vegetal parece, então, ser inevitável. E não são necessários cálculos adicionais para concluir-se que com as empresas em um determinado mercado acontece o mesmo: também aí existem limitações para novos empreendimentos em condições de saturação do mercado. Nesse caso, a possibilidade de sobrevivência implicará a redução do mercado das concorrentes antigas ou a liquidação de uma (ou mais) delas. Tanto que há necessidade de pesquisa de mercado antes de se investir em qualquer ramo de atividade.

4.5 Modos de Geração de Novos Sistemas

Tanto sistemas gerados por emergência quanto por teleologia têm que passar por uma espécie de "seleção natural". O uso de aspas foi proposital: a complexidade do conceito de seleção natural (sem aspas), elaborado por Darwin, não permite sua transposição de forma indiscriminada; há, todavia, componentes que permitem alguma comparação. Com esse cuidado em mente, passa-se a investigar a geração de novos sistemas a partir de sistemas já "aprovados" por alguma forma de "seleção natural".

Uma questão que se coloca a essa altura é: é possível investigar a possibilidade de, em cada caso, construir outros sistemas com características similares aos já existentes com boa chance de também serem "aprovados"? Não há resposta genérica para isso. No

entanto, se houver a possibilidade de construção de sistemas com organização similar a um existente, ela ocorrerá de quatro formas: por **réplica**, por **cópia** e por **reprodução**, segundo Maturana e Varela, além de mais uma forma que é a **fusão** não tratada pelos mestres citados.

Para **réplica**, Maturana e Varela (1997, p. 69-71),

***Réplica:** falamos de réplica (ou, às vezes, produção) cada vez que temos um mecanismo que, em seu funcionamento, pode gerar repetidamente unidades da mesma classe. Por exemplo, uma fábrica é um grande mecanismo produtivo que, por aplicação repetida de um mesmo procedimento, produz em série réplicas de unidades da mesma classe: tecidos, automóveis, pneumáticos (...). O mesmo ocorre com os componentes celulares. Isso pode ser visto com muita clareza na produção de proteínas. Nela os ribossomos, os ácidos nucleicos mensageiros e de transferência, e outras moléculas constituem em conjunto a maquinaria produtiva - e as proteínas constituem o produto.*

O fundamental no fenômeno da réplica está em que o mecanismo produtivo e o replicado são sistemas operacionalmente diferentes: o mecanismo produtor gera elementos independentes dele mesmo. (...) em consequência do fenômeno da réplica, as unidades produzidas são historicamente independentes umas das outras. O que acontece a qualquer delas em sua história individual não afeta as que lhe sucedem na série de produção. O que acontece ao meu Toyota, depois que eu o comprar, em nada afetará a fábrica Toyota, que continuará produzindo imperturbavelmente os seus carros. Em suma: as unidades produzidas por réplicas não constituem entre elas um sistema histórico.

Um exemplo simples de uso da réplica como geração de novos sistemas é uma incubadora de empresas. Ao final do processo de incubação, é gerado um novo sistema (uma empresa), com estrutura administrativa própria, legalizada formalmente e com aptidão para competir em um mercado específico. Da mesma forma que Maturana e Varela na citação acima se referem à relação entre o automóvel e a fábrica da Toyota, o que acontece com a nova empresa saída do processo de incubação, em nada afetará a incubadora, que continuará sua missão de gerar novas empresas, independentemente de seus

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

ramos de atividade. A nova empresa é independente da incubadora e continuará assim enquanto existir como sistema.

Já a **cópia** difere um pouco da réplica (MATURANA; VARELA, 1997, p. 71-72),

Cópia: falamos de cópia cada vez que temos uma unidade modelo e um procedimento de projeção para gerar outra que lhe é idêntica. Por exemplo, esta folha de papel, se passada por uma máquina reprodutora produzirá uma cópia, como se diz na linguagem cotidiana. A unidade modelo é esta página, e o procedimento é o modo de funcionar com projeção ótica da máquina reprodutora.

Os autores referem-se a uma unidade modelo e a um procedimento para gerar outra que lhe é idêntica. No caso citado, o procedimento é de projeção ótica da página impressa. Considere, por exemplo, o conceito de **franquia**. Ao entrar em uma loja franqueada - seja de *fast-food*, de operadoras de telefonia ou qualquer outra - o cliente reconhece a marca franqueadora na hora, embora saiba de diferenças entre duas franqueadas da mesma marca. As franqueadas são independentes umas das outras e também idênticas à franqueadora. Grandes empresas, por vezes, optam por não abrir filiais, mas, sim, gerar franqueadas à sua imagem e semelhança. Este tipo de cópia é feito a partir de um único modelo, isto é, todas as cópias são geradas a partir de um só modelo.

Maturana e Varela abordam outro tipo de cópia: a que usa o resultado de uma cópia como modelo para a segunda. E esta como modelo para a terceira, e assim por diante. Chamam esse tipo de **cópia com substituição do modelo**. Pode-se exemplificar com um original do qual se tira uma cópia com scanner. A partir dessa cópia faça outra. Com esta última, mais uma, e assim sucessivamente. Após algumas repetições do procedimento, as diferenças de legibilidade entre a última cópia e a original serão progressivamente constatadas: é o que acontecia com a cópia sucessiva de fitas de vídeo analógicos (mais acentuadamente no VHS, mas também nos mais sofisticados equipamentos profissionais). Maturana e Varela

(1997, p. 72-73) apresentam uma ilustração onde a cabeça de um batráquio vai se modificando até alcançar o formato de uma cabeça humana.

A terceira forma de geração de novos sistemas, segundo Maturana e Varela (1997, p. 72-73), é a **reprodução**.

***Reprodução:** falamos de reprodução quando uma unidade sofre uma fratura que resulta em duas unidades da mesma classe. Isso acontece, por exemplo, quando um pedaço de giz é quebrado por pressão, dando origem a dois fragmentos. Ou quando se parte em dois um cacho de uva.*

As unidades que resultam dessas fraturas não são idênticas à original nem entre si, mas pertencem à mesma classe da original, isto é, tem a mesma organização que ela. O mesmo não acontece com a fratura de outras unidades, como um rádio ou uma cédula de dinheiro. Nesses casos, a fratura da unidade original a destrói: deixa dois fragmentos e não duas unidades da mesma classe.

*Para que na fratura de uma dada unidade ocorra o fenômeno da reprodução, sua estrutura tem de se organizar de uma maneira **distribuída**, não compartimentalizada. Dessa maneira, o plano de fratura pode separar fragmentos com estruturas capazes de configurar de modo independente a organização original. O giz ou o cacho de uvas tem esse tipo de estrutura, e admitem numerosos planos de fratura, porque os componentes que configuram suas respectivas organizações se repetem de forma distribuída e não compartimentalizada em toda a sua extensão (cristais de cálcio, no caso do giz, e uvas no cacho).*

Fraturas em cada um dos exemplos conseguem gerar unidades da mesma classe que lhes deram origem pelo fato de suas **respectivas organizações se repetirem de forma distribuída**. Outros exemplos citados pelos autores são cristais, madeiras, comunidades, estradas, além de células. Mas podem-se imaginar outros exemplos: espelho; fratura de uma empresa em duas (por vezes como cumprimento de sentença da lei antitruste); divisão de estados da federação como nos casos bem sucedidos de Goiás (resultando em Goiás e Tocantins) e Mato Grosso (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul); ou o fracionamento do supercontinente denominado como Pangeia, que teria dado origem aos continentes

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

atuais observados na Terra. Em todos esses casos, o sistema original deixa de existir, dando lugar a outros com estruturas capazes de configurar de modo independente a organização do sistema original.

Os autores reforçam a característica da reprodução (MATURANA; VARELA; 1997, p. 74).

O fundamental no processo reprodutivo (diferentemente da réplica ou da cópia) é que tudo ocorre na unidade como parte dela, e não há separação entre os sistemas reprodutor e reproduzido. Tampouco se pode dizer que as unidades que resultam da reprodução preexistam, ou estejam em formação, antes que aconteça a fratura reprodutiva: elas simplesmente não existem.

A quarta forma de geração de novos sistemas, não tratada por Maturana e Varela, é a **fusão** que ocorre quando duas ou mais unidades funcionais se agrupam formando uma única unidade da mesma classe das que lhe deram origem. É o caso de fusão entre empresas, por exemplo. Neste começo de século XXI houve, no Brasil, a fusão de várias empresas dos ramos de bebidas, alimentos e comércio, em busca de melhor economia de escala e, portanto, de maior força de barganha no mercado. Da mesma forma, tem ocorrido a fusão de times de futebol de uma cidade para formar outro mais competitivo nos campeonatos regionais ou nacionais.

O sistema gerado por um processo de fusão não é idêntico aos que lhe deram origem mas, similarmente ao processo reprodutivo, pertence à mesma classe que os originais. Também os sistemas originais deixam de existir, permanecendo apenas o que resultou do processo de fusão.

Sem dúvida, sistemas podem ser gerados a partir da *estaca zero*, ou seja, não sendo originados de qualquer outro pré-existente. É o caso do **Big-Bang**, a teoria mais aceita sobre a origem de nosso Universo e, em decorrência, do sistema solar em que se encontra a Terra. Também criações originais do gênio humano; é o caso do sistema de controle do fluxo de vapor de uma caldeira, conhecido como **fly-ball governor**, que permitiu a criação da máquina a vapor.

Automóvel, aeroplano, rádio, televisão, submarino e Internet, são magníficos exemplos de criação de sistemas originais concebidos pela mente humana (THURSTON, 2012).

4.6 Classificação de Sistemas

Existe uma miríade de maneiras de se classificar sistemas. Apenas algumas serão vistas neste texto, já que se propõe introdutório e didático.

A primeira classificação diz respeito à sua fronteira, a qual pode permitir ou não a troca de informação/energia com o ambiente. Em **um sistema fechado não há troca de informação/energia com o ambiente**, o que fará com que sua entropia apresente tendência a crescer e, assim, levar o sistema ao colapso. Já em **um sistema aberto a troca de informação/energia com o ambiente é permitida**, o que possibilita ao sistema obter aportes de informação/energia contrapondo-se à tendência de crescimento da entropia e, assim, conseguir prolongar a "sobrevida" no ambiente (lembrando sempre que tal "sobrevivência" não depende apenas de sua caracterização como sistema aberto). O exemplo da vela acesa em um prato e coberta por um copo visto neste texto é um sistema fechado. A célula, como também já visto neste texto, é um exemplo de sistema aberto. Qualquer empresa em funcionamento em um determinado mercado também é um sistema aberto.

Um **sistema estático** não possui memória, enquanto um **sistema dinâmico** a tem. Diz-se que um sistema é dinâmico porque, quando excitado, seu comportamento depende das condições iniciais. Em outras palavras, seu comportamento, exibido a partir de um instante de tempo, irá depender de seu estado (chamado de inicial) naquele exato instante de tempo. Imagine-se um pedregulho que um seresteiro joga contra o vidro da janela de sua amada; fará um ruído estridente que, ele espera, a acordará. No entanto, o mesmo caco de brita atirado com força partirá o vidro e selará um desastre amoroso. Isto acontece porque, tendo mudado sua condição inicial (a força do

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

lançamento) o vidro não absorveu a energia transferida pela pedra. Com um pêndulo simples acontece o mesmo: dadas condições iniciais distintas, apresentará movimentos diferentes. Pode-se improvisar um pêndulo com uma latinha e um barbante e constatar esse resultado.

Outra classificação importante, quanto à formação do sistema, é a que distingue um sistema teleológico de um sistema emergente, já visto acima.

Para um texto introdutório e didático com fins de estudos interdisciplinares, no entanto, não há necessidade de estudar-se mais classificações sobre sistemas. A literatura sugerida já o faz (SKYTTNER, 1996, p. 70-74).

5 MONITORAÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS

Uma floresta pode ser um fenômeno da natureza; uma quinta certamente não é. As próprias espécies de que o homem obtém o seu alimento - cereais e gado - são artefatos, produtos de seu engenho. Um campo lavrado não é mais nem menos parte da natureza que uma rua asfaltada.

Estes exemplos põem os termos do problema, porque as coisas a que chamamos artefatos não estão fora da natureza. Não tem qualquer permissão para ignorar ou violar as leis naturais.

Herbert A. Simon (1981, p. 24)

Um fenômeno físico ou abstrato, como visto, pode dar margem à construção mental de um sistema, por um observador, resultando em uma coleção de objetos interligados perfazendo uma unidade (uma totalidade, um todo) apresentando uma ou mais funcionalidades.

O sistema construído mentalmente pelo observador contém apenas os aspectos mais relevantes do fenômeno em si, o que reduz sua complexidade a níveis que permitem a monitoração e o controle. O que se monitora/controla em um sistema, portanto, depende da necessidade do observador. No exemplo de uma criança doente que motiva dois sistemas conceituais, um em sua mãe e outro no plantonista de uma UTI isso fica bem claro: o número de variáveis que cada um desses observadores acompanha é diferente, porque construíram sistemas diferentes para o mesmo objeto, a criança.

Para um executivo de empresa tomar decisões administrativas - ou exercer controle no âmbito de suas atribuições - necessitará de informações precisas (fazer monitoramento) sobre aspectos relevantes do sistema a controlar. Outro executivo da mesma empresa, com outro âmbito de atividades, poderia selecionar outros aspectos do conjunto para tomar suas decisões.

Toda monitoração tem por objetivo acompanhar a situação (estado) em que o sistema se encontra ao longo do tempo. Isso é importante porque não há como controlar-se com sucesso algo que

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

não se consiga monitorar. Neste capítulo serão abordados aspectos relativos à monitoração (e, eventualmente, ao controle), como o conceito de estado de um sistema, sempre de forma didática e, na medida do possível, ilustrado com exemplos de aplicação diversos. Verá, também, que um sistema possui um único estado em um determinado instante de tempo. Finalmente, verá que uma **sequência de estados** percorridos por um sistema caracteriza o que é chamado de um **processo**.

5.1 Estado de um Sistema

Já se mostrou aqui que sistemas estáticos não possuem memória, enquanto sistemas dinâmicos a tem. Isso significa que, em um sistema dinâmico, as condições em que se encontra em dado momento são relevantes para a determinação de seu comportamento futuro.

Imagine-se que alguém tenha um compromisso em Florianópolis. Se já está em Florianópolis, tudo bem. Mas se está, por exemplo, no Rio de Janeiro, tomará as providências para a viagem até seu objetivo. O comportamento futuro (a viagem) é ditado pelas condições em que o sistema (o cidadão com compromisso em Florianópolis) se encontra. Isso se chama **memória do sistema**. Para caracterizar a memória de um sistema dinâmico, usa-se um conceito conhecido como **estado**.

O estado de um sistema é definido como um conjunto mínimo de variáveis mensuráveis, cujos valores em um instante de tempo são necessários para determinar a evolução do sistema em um instante futuro de tempo em face de uma entrada (provocação, excitação, ocorrência de um evento, etc.).

Essas **conjunto mínimo de variáveis** representa as condições em que o sistema se encontra, a que se deu o nome de memória do sistema. Considere-se uma garrafa de álcool e uma única (um conjunto de um único elemento) variável, qual seja a quantidade de

álcool. Se a garrafa for jogada em uma fogueira, a violência da explosão decorrente do contato do álcool com o fogo dependerá dessa variável, ou seja, da quantidade de álcool contida na garrafa. A explosão será mais violenta se o valor dessa variável (que é única a representar o estado do sistema) for maior.

A Fig. 5-1 representa um tanque de água que está a encher. O instante inicial de tempo é denominado t_0 ; o instante de tempo futuro é denominado como t . A cada desses instantes de tempo corresponde um estado do sistema, isto é, um volume de água no tanque, que se avalia pela sua altura.

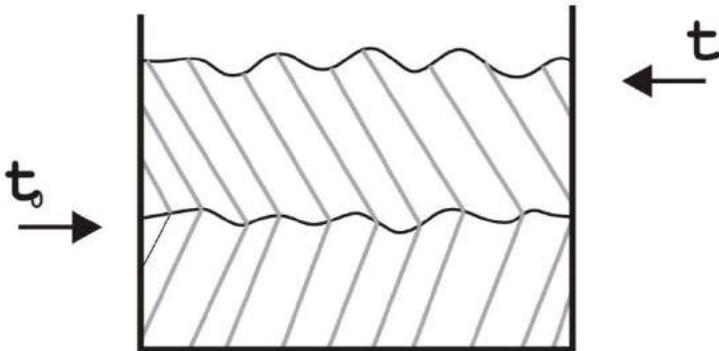


Fig. 5-1: Estados de um sistema.

Quando se acrescenta água no tanque, a altura do nível de água se eleva, que se pode medir com um instrumento - pode ser uma régua. A informação sobre o estado (aqui sendo representado por uma única variável, a altura do nível de água no tanque) é importante para tomada de decisão, seja para desligar a bomba impedindo que a água transborde, seja para religá-la, impedindo que o tanque seque e as pessoas fiquem sem água na torneira.

Outro exemplo de estado representado por uma função de uma única variável é a conta bancária. Em um instante inicial de tempo (digamos, no dia do pagamento mensal do salário), o saldo é de **R\$**

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

3.1 ,00. Em outro instante de tempo futuro (por exemplo, pagas as contas fixas do mês), o saldo passou para **R\$ 2.000,00**. O estado da conta bancária mudou e essa mudança baliza o comportamento do cliente.

Dá para notar que **o estado de um sistema em um instante de tempo é tão somente uma fotografia desse sistema naquele instante de tempo**. Em cada desses instantes de tempo, os valores das variáveis representativas de seu estado adquirem valores específicos. Enquanto esses valores permanecerem constantes, o estado permanece o mesmo. Basta que apenas uma das variáveis tenha seu valor modificado para caracterizar outro estado. Claro que a mudança de estado pode ser feita pela modificação de mais de uma variável de estado. Isso pode ser ilustrado pela Fig. 5-2, representando o lançamento de um objeto em órbita da Terra. A nave é apenas uma, mas a figura ilustra os vários estágios do processo de lançamento (cada um desses estágios é um estado do sistema). Entre esses estados, há estados intermediários, que não são considerados relevantes para a análise do lançamento. Mas é bom lembrar que eles existem, fazendo parte do que é denominado de **transição de estado**.

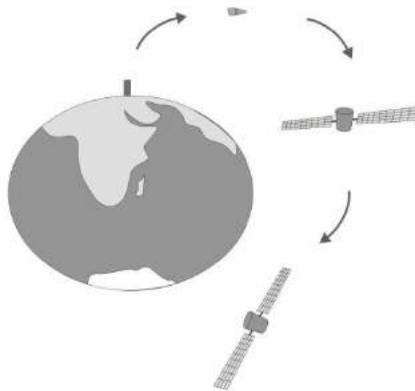


Fig. 5- 2: Seqüência de estados em um sistema.

O papel de uma UTI - Unidade de Terapia Intensiva, de um hospital, é tentar prolongar a vida do paciente para que os profissionais de saúde possam tentar ajudá-lo a salvar sua vida. Isso significa que o estado do paciente é crítico, caso contrário não estaria na UTI. O estado desse paciente é representado por um conjunto de poucas variáveis que, em regra, são:

1. *Temperatura do corpo (T)*
2. *Concentração de oxigênio (O)*
3. *Batimento cardíaco (B)*
4. *Respiração (R)*

O estado do paciente é representado em função dessas quatro variáveis, $e(T,O,B,R)$. A expectativa quanto a sobrevivência do paciente depende da evolução dos valores dessas variáveis, as quais podem indicar o tipo de ação a ser tomada pelos profissionais de saúde. Salvo em casos muito graves, em que o acompanhamento é contínuo, essas variáveis são monitoradas (medidas, mensuradas) de forma discreta em intervalos regulares (a cada 10 minutos, ou 20 minutos, etc.), para que a evolução do estado do paciente seja avaliada. Em cada intervalo de tempo é determinado o estado do paciente e a avaliação global do paciente é feita a partir da evolução do sistema, ou seja, a partir dessa sequência de estados, e_1 , e_2 , e_3 , etc. Nos intervalos entre uma medição e outra ocorrem os estados intermediários - no caso, não considerados.

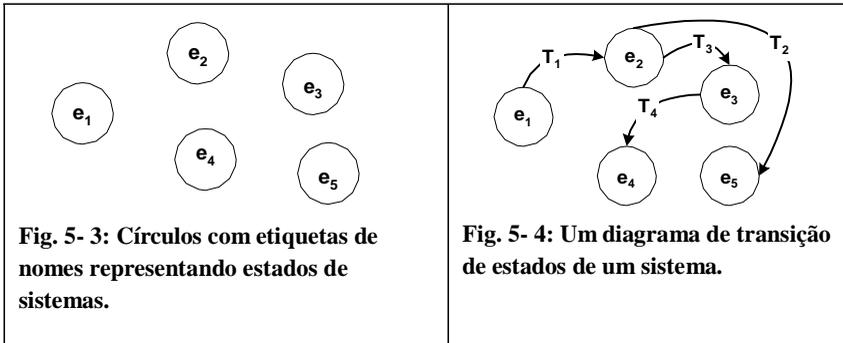
Não basta escolher as variáveis de estado; é preciso avaliá-las (medi-las, mensurá-las) para que se possa efetuar o controle do sistema.

5.2 Diagrama de Estado

Quando há mudanças de estado do sistema, algo deve ter provocado tal mudança. É comum representar-se um estado do

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

sistema através de círculos com os seus nomes, como mostrado na Fig. 5-3. As setas indicam a transição entre estados.



Na Fig. 5-4, note-se que, se o sistema está no estado e_2 , é possível alcançar os estados e_3 e e_5 , diretamente em um único passo. No entanto, o estado e_4 , só pode ser alcançado a partir do estado e_2 , em dois passos, isto é, apenas através do estado e_3 . Por meio da representação dos estados e de suas transições, é possível visualizar as possibilidades de transição e prever o estado do sistema em um tempo futuro, considerando-se hipóteses condicionantes das diferentes transições entre estados intermediários. As transições T_i (aqui, apenas 4: T_1 , T_2 , T_3 e T_4), mostradas na Fig. 5-4, abrem caminho para o planejamento de ações capazes de determinar transições possíveis entre os estados do sistema. A representação apresentada na Fig. 5-4 é tão importante que recebe um nome especial: **Diagrama de Transição de Estado** ou, simplesmente, **Diagrama de Estado** do sistema.

Um **diagrama de estado** é um **grafo direcionado (digraph - directed graph)**, com informação dos estados de um sistema dinâmico, usado para indicar de que forma as transições dos estados de um sistema podem ser executadas. É o que pode ser observado nos exemplos aqui citados. Para referência sobre Teoria de Grafos veja o livro de Balakrishnan (1997).

A seguir, alguns exemplos de sistemas e seus estados alcançáveis por transições específicas. Sempre que possível, esses exemplo serão ilustrados, para melhor visualização de conceitos.

Considere um **interruptor de luz**. É um sistema que admite apenas dois estados: **lâmpada acesa** e **lâmpada apagada**. A Fig. 5-5 ilustra o diagrama de estado de tal sistema. Se o sistema está inicialmente no estado **lâmpada apagada**, você consegue executar a transição deste para o estado **lâmpada acesa** diretamente acionando o interruptor. E vice-versa. O diagrama mostra com clareza todas as possibilidades de transição de estado neste sistema simples. A transição de um estado para outro só é possível quando o evento adequado ocorre. Este tipo de sistema é chamado **multivibrador bi-estável**, porque ambos os estados são estáveis, isto é, para que haja a transição para outro estado, há necessidade de ocorrência de evento específico. No caso, acionando o interruptor para apagar ou acender a lâmpada.

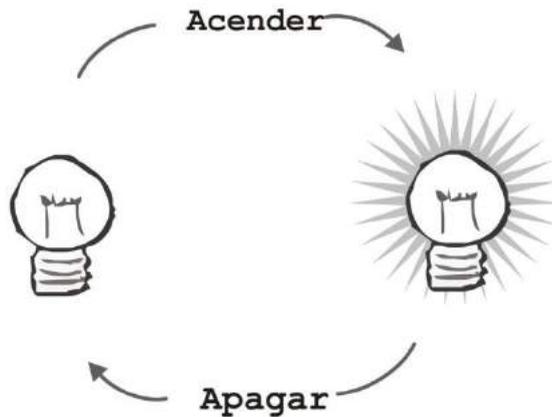


Fig. 5- 5: Diagrama de transição de estado um sistema com apenas dois estados alcançáveis.

Dois outros tipos de multivibradores são muito comuns, também. Um é o **multivibrador mono-estável**, onde apenas um dos estados é estável. Isto significa que, quando o sistema está neste estado estável, sua transição só é possível na ocorrência do evento específico, enquanto no outro tal não ocorre: decorrido um certo tempo ele executa a transição sozinho. É o caso de luzes com

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

acendimento automático, muito utilizado em corredores, por exemplo. Enquanto o sensor de presença estiver detectando movimento a lâmpada ficará acesa. Quando o movimento cessar, após alguns segundos, o sistema retornará ao estado estável, apagando a lâmpada. O outro tipo é o **multivibrador astável**, ou seja, aquele em que nenhum dos dois estados é estável: a transição de um estado para outro é executada em um ciclo contínuo, como acontece com qualquer **pisca-pisca**, desde que acionado.

A área de **quebra-cabeças** é rica sob vários pontos de vista. Primeiro por que emula as trilhas seguidas por cientistas e demais resolvedores de problemas. **Thomas Kuhn** (1982), em seu livro **Estrutura das Revoluções Científicas**, observa a importância dos quebra-cabeças nos processos de busca em pesquisa científica, dizendo que, **para o cientista, não é o resultado final o mais relevante, e sim as pequenas soluções no caminho trilhado para a solução completa do problema em questão**. Na realidade, segundo Kuhn (1982), uma pesquisa científica nada mais é do que uma sucessão de quebra-cabeças, os quais precisam ser solucionados paulatinamente em busca da solução completa da pesquisa.

Além disso, o exercício do raciocínio é fundamental para manter-se o cérebro saudável. Por essas razões, quebra-cabeças representa muito mais do que apenas diversão. É fundamental para a solução de problemas práticos que se apresentam em tarefas cotidianas e no exercício de funções como as de executivos de empresas, programadores de computadores, projetistas de sistemas de informação, médicos cirurgiões, advogados criminais, promotores de justiça, etc., bem como de tarefas cotidianas. É recomendado fortemente a leitura do livro **A Arte de Resolver Problemas** (POLYA, 1978).

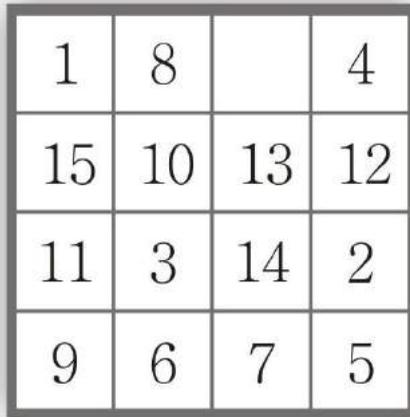
Considere o quebra-cabeças conhecido como **quadrado 15**, onde um conjunto de 15 peças quadradas é disposto em um quadrado de 16 casas, sendo que uma delas está sempre vazia. O jogo consiste em movimentar as peças, uma por uma, deslocando-se, assim, a casa

vazia até que se consiga uma determinada configuração (estado final), a partir da configuração inicial (estado inicial). O sistema é ilustrado na Fig. 5-6, em um estado possível do sistema, cuja configuração denominaremos **estado inicial** e que pode ser modificada de apenas três formas, isto é, há apenas 3 transições (**T₁**, **T₂** e **T₃**) de estados possíveis, a partir deste estado inicial:

T₁: Deslocando-se o quadrado 8 para a direita.

T₂: Deslocando-se o quadrado 4 para a esquerda.

T₃: Deslocando-se o quadrado 13 para cima.



1	8		4
15	10	13	12
11	3	14	2
9	6	7	5

Fig. 5-6: Quebra cabeças quadrado 15.

Qualquer uma dessas 3 transições levam o sistema a um estado diferente do estado inicial. Digamos que você escolheu mover a peça 13 para cima, deslocando a casa vazia para baixo e ficando cercada pelo 13 acima dela, o 12 à direita, o 10 à esquerda e o 14 abaixo. Neste novo estado há mais 3 transições possíveis, além do retorno ao estado inicial.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Utilizar o diagrama de estado para representar todas as possíveis transições até conseguir uma arbitrária configuração (estado) final, é impraticável neste caso, uma vez que o número possível de estados é extremamente grande, o que demandaria a ocupação de muito espaço em um desenho. Daí a necessidade de ter-se mais formas de representação dos estados para esse tipo de sistema (com muitos estados possíveis).

P₁	P₂	P₃	P₄
P₅	P₆	P₇	P₈
P₉	P₁₀	P₁₁	P₁₂
P₁₃	P₁₄	P₁₅	P₁₆

Fig. 5- 7: Uma representação simbólica de estados do sistema.

Uma forma de representação pode ser feita considerando-se os quadrados menores como posições diferentes no quadrado maior, conforme a Fig. 5-7. Nesta representação, as posições são fixas. E P_i indica o valor na posição i . Portanto, qualquer estado deste sistema pode ser representado na forma:

$$e(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{16})$$

Então, o estado do sistema observado na Fig. 5-6 pode ser representado por:

$e_i(1,8, X, 4,15,10,13,12,11,3,14, 2,9, 6,7,5)$

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	

Fig. 5- 8: Representação do estado final

A posição da casa vazia é representada pela letra **X**. Na última representação foi colocado um índice, **i**, indicando e_i como o estado inicial do sistema. Suponha que o **estado final**, isto é, o estado ao qual se quer chegar, seja e_f , Fig. 5-8:

$e_f(1, 2,3, 4,5, 6, 7,8,9,10,11,12,13,14,15, X)$

Ao contrário da mente humana, adaptada a trabalhar com grafismo, um computador foi criado para implementar algoritmos, em geral utilizando *strings*, que são seqüências de caracteres, numéricos ou não. Não é de admirar o fato de que, ao olhar-se para a expressão e_i acima, tenha-se dificuldade de enxergar a Fig. 5-6, apesar de representá-la formalmente.

A solução desse tipo de quebra-cabeças por computador exige representação desse tipo. É possível traduzir-se a representação por *string* para uma figura correspondente, a qualquer tempo e, dessa forma, ir visualizando em um monitor as mudanças gráficas a cada

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

passo em direção à solução do quebra-cabeças. Tente fazer o diagrama de estado de uma possível solução para o quebra-cabeças acima, possivelmente com estados inicial e final diferentes dos aqui apresentados.

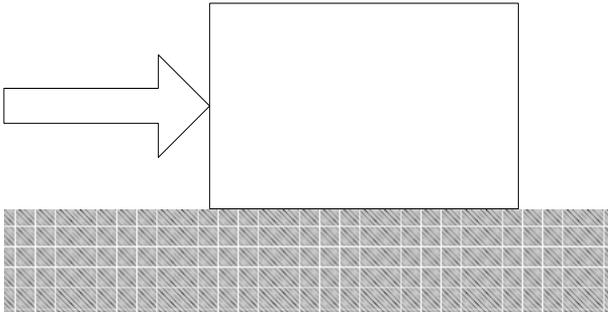


Fig. 5- 9: Movimento em sistema estático.

5.3 Estabilidade de Estados de Sistemas

Se se desloca uma caixa em um plano horizontal, Fig. 5-9, aplicando uma força paralela ao plano, o deslocamento cessará quando se parar de aplicar a força. Isso acontece porque esse é um sistema estático. Já quando se solta uma bolinha de gude na borda interior de uma xícara, ela se deslocará em movimentos de subida e descida dentro da xícara até parar devido ao atrito com a superfície de contato, Fig.5-10.

A bolinha de gude na Fig. 5-10 está em uma posição que se pode considerar como seu estado inicial. A posição alcançada em outro instante de tempo representa outro estado do sistema. Vários estados podem ser alcançados na medida em que o tempo decorre. A não ser o último - quando a bolinha de gude parar completamente, todos esses estados serão transitórios. A transição de cada um deles

para o próximo estado é inevitável, com exceção do último, que permanecerá até que nova força desloque a bolinha de gude.

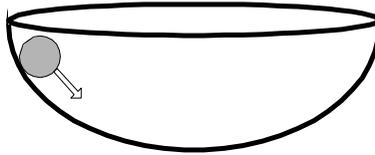


Fig. 5- 10: Movimento em um sistema dinâmico.

Esse último estado é denominado **estado de equilíbrio estável**. Todos os outros não o são, uma vez que não se sustentam, permitindo a transição para outro estado do sistema. Fica claro, com isso, que o **conceito de estabilidade se aplica a estados** do sistema, e não ao sistema propriamente dito. Não se pode dizer que o sistema da Fig. 5-10 é estável, mas sim que **esse sistema alcançará um estado de equilíbrio estável**. No sistema da Fig. 5-9, estático em uma superfície horizontal, diz-se que qualquer estado de equilíbrio é estável: cessada a ação da força, o sistema permanecerá no estado em que estiver.

Ao invés de considerar-se apenas um **único estado de equilíbrio estável**, é comum considerar-se também **uma região de equilíbrio estável**. Isso permite incluir-se um conjunto de estados na vizinhança de um estado específico, onde o sistema pode estar sofrendo transição entre esses estados, mas sem afastar-se dessa vizinhança. Caso o sistema permaneça na referida vizinhança, esta pode ser chamada de **região de estabilidade**.

Por exemplo, em boletins meteorológicos, é comum encontrar a expressão **tempo estável**. As condições do tempo caracterizam um sistema dinâmico estocástico (probabilístico) e o estado desse

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

sistema em uma determinada área geográfica é determinado por conjunto mínimo de variáveis (temperatura, direção do vento, velocidade do vento, etc.) aferidas periodicamente. O tempo é considerado estável não porque se mantenha imóvel em um determinado estado fixo, mas porque flutua entre estados considerados aceitáveis. Em outras palavras a região contendo tais estados é considerada região de estabilidade.

A meteorologia é uma área do conhecimento científico importante pelas indicações que oferece, principalmente na previsão de catástrofes tais como o Furacão Catarina que atingiu o sul do Brasil, no início de 2004 - mas também por advertir sobre o risco de situações de instabilidade que afetam atividades econômicas como a agricultura, a navegação e o turismo. Um único estado de equilíbrio estável não é possível prever-se, mas tão somente uma região contendo estados de condições de tempo que possam exibir características específicas. A previsibilidade do tempo climático é um avanço importante da ciência, porque implica a constatação de que mesmo um sistema dinâmico não linear ou complexo, que se comporta de maneira caótica, pode ser monitorado através de equações matemáticas que considerem o alto nível de imprevisibilidade dos eventos. O assunto é abordado na Teoria do Caos.

A área de Sistemas de Controle trata de projetar, desenvolver e implementar controladores para que os sistemas a serem controlados possam exibir estados aprisionados em regiões de estabilidade; essas regiões podem abarcar estados dos sistema que se comportam de forma assintótica, isto é, caminhando sempre naquela direção.

Vimos que em um sistema fechado, a entropia tende a crescer, fazendo com que o sistema alcance um estado final de equilíbrio estável, no que é denominado, algumas vezes, de colapso do sistema. Em sistemas abertos, quando há possibilidade de troca energia/informação com o ambiente, é possível evitar o crescimento de sua entropia evitando-se o colapso do mesmo.

Em grandes empresas do setor de bens de consumo - bebidas, por exemplo - parte não desprezível de faturamento é utilizada em propaganda; considera-se que empresas que se fechem em relação à divulgação tenderão a entrar em colapso. Na realidade atual do mercado, seria temerário manter-se competitivo contando apenas com a propaganda boca-a-boca, embora esta seja também importante: é o que parece indicar a sorte infausta da Lobrás, Lojas Brasileiras S/A, empresa de âmbito nacional que apoiava sua divulgação apenas na colaboração espontânea dos clientes.

Um livro é um sistema de informação fechado: a partir do momento em que é impresso, não se pode acrescentar ou retirar dele qualquer informação. Permanecerá em seu estado de equilíbrio estável enquanto o material de que é feito permitir sua leitura. A entropia neste caso tem a ver com a degradação do material. Um sistema de informação online, ao contrário do livro, é um sistema aberto, e pode ser atualizado sempre; neste, é possível impedir o crescimento de sua entropia mediante atualização.

Não se quer dizer com isso que o livro não tenha valor, claro. O livro é uma das principais joias a disposição do ser humano. E, ao contrário de um diamante que foi construído pela natureza, é obra do ser humano, um dentre vários outros artefatos também criados por ele. Desenhos e quadros de Da Vinci, Picasso ou Rafael, representam também exemplos de sistemas fechados, pois nada mais pode ser acrescentado ou retirado (embora muita reflexão possa ser feita), sem perder sua esplendorosa beleza. Quem disse que os sistemas fechados não tem valor?

A transição entre estados de equilíbrio estável pode ser observada na situação corriqueira de quem vai ao cinema à tarde em um dia ensolarado. Dentro da sala de projeção, na penumbra, as pupilas se abrem para permitir uma quantidade maior de raios de luz na câmara escura do globo ocular: é a chamada midríase. Ao sair do cinema, no entanto, com o nível de iluminação bem maior, a quantidade de luz penetrando nos olhos através das pupilas dilatadas, produz incômodo; em alguns segundos, o sistema biológico que

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

controla a abertura das pupilas reduz a dimensão das mesmas fazendo com que passe menos raios luminosos - é a chamada miose¹⁷. A transição de um estado de equilíbrio (sob a luz solar) para outro (sob penumbra) e vice-versa, caracteriza a capacidade de **adaptação** do sistema. O sistema biológico automático que controla a abertura das pupilas é, portanto, um **sistema adaptativo**.

O corpo humano, assim como o de outros animais, inclui um sem número de sistemas adaptativos e é a capacidade de adaptação que permite a sobrevivência da espécie. Quando você está caminhando, seu batimento cardíaco é um, quando correndo é outra. Batimentos cardíacos, respiração, sudação, dentre outros, são sistemas adaptativos.

Um avião comum de passageiros que voa em grande altitude, onde o ar é rarefeito, pode ser considerado uma bomba, porque a pressão na cabine onde ficam os tripulantes e passageiros é maior do que fora do avião, onde a vida seria impossível. Ainda assim, essa pressão no interior da cabine é menor do que a pressão no nível do mar, à qual os passageiros estão adaptados antes da decolagem; isso provoca desconforto passageiro aos ocupantes do avião até que o sistema cibernético encarregado que regula o fluxo de oxigênio nos tecidos (e a pressão no ouvido interno) consiga adaptar o organismo às novas condições ambientais. O organismo passará pelo processo inverso a quando do pouso do avião.

Houve no Brasil, na segunda metade do século XX, a implantação de vários planos econômicos, causando imensos transtornos à população brasileira e ao seu sistema produtivo. De fato, foram aventuras econômicas catastróficas. E o povo brasileiro teve que adaptar-se às condições decorrentes de cada "novo plano", proposto com a promessa de estabilidade.

Nem há como sobreviver sem essa capacidade de adaptação à situação imposta. É o caso dos países do oriente médio ricos em petróleo cobiçado pelas grandes potências. O processo colonial, ali,

¹⁷ Contribuição do Prof. Nilson Lemos Lage.

cumprir secularmente a velha estratégia de dividir para conquistar, estimulando ao limite qualquer possibilidade mínima de conflito, aliando-se aleatoriamente a uma facção contra outra, promovendo fraturas étnicas, religiosas, regionais, entre gerações, etc., processo que conhecemos bem. O resultado é a longa e angustiante tragédia que infelicitou os países árabes - nos quais, no entanto, a população sobrevive.

Na educação dos jovens, é preciso considerar que o futuro deles depende da capacidade de atuarem como **sistemas adaptativos**, preservando valores e identidade mas conhecendo limites impostos pela sociedade; são normas que variam de um grupo social a outro, de um país a outro, de um ambiente a outro. Quem aprende, ainda na infância e adolescência, a se adaptar sem se corromper combinará melhor o amor próprio e o respeito alheio.

É necessário, além de carinho e afeto, impor-se regras, restrições, uma vez que estão formando sua personalidade e precisam conhecer limites. Isso é importante porque o mundo não comporta egocentrismo de toda sua população. Para conviver com outras pessoas, isto é, para viver-se em uma sociedade, há que se ter um contrato social: cada sociedade tem suas regras, seus limites, sua cultura, etc. Quando você migra de uma sociedade para outra é necessário adaptar-se a essas novas (para quem está chegando) regras. Se aprendemos, ainda na infância e adolescência, a termos essa capacidade de adaptação, certamente, não teremos problemas em vivermos em sociedade. Podemos até ter mais dificuldade de adaptação em umas do que em outras. Mas nada que não possa ser resolvido.

Mudanças estruturais no ambiente pode desencadear mudanças estruturais no sistema de sorte a permitir sua adaptação ambiental. Isso acontece com organismos, empresas, ou qualquer outro tipo de sistema.

5.4 Processo: Sequência de Estados

A uma sequência de estados por que transita um sistema dá-se o nome de **processo**, conforme ilustrado na Fig. 5-2. Desde que o foguete é lançado até a entrada em órbita do satélite, o sistema passa por um sem número de estados, caracterizando o processo.

O ser humano pode ser considerado um sistema, mas sua ontogenia (seu desenvolvimento desde a fecundação até a maturidade) é um processo. Há vários exemplos de empresas (sistemas) que começaram em quintais, garagens, etc., e vieram a se tornar (considerando-se processo desde sua gênese até a maturidade) gigantes econômicos. Portanto, e em definitivo, **jamais se deverá atribuir o mesmo significado às palavras sistema e processo.**

Processos também podem ser classificados. Se um processo é irreversível, é **chamado de processo histórico**. É o caso da ontogenia de um ser humano, do desenvolvimento de uma empresa ou de um país. Quase sempre, é impossível reconstituir-se completa e detalhadamente processos irreversíveis ou históricos. Apenas a ciência pode ajudar mas, ainda assim, com imensa dificuldade. Áreas como História, Geologia, Paleontologia, Astrofísica, Antropologia, apoiadas em ciências básicas (Física, Biologia, Matemática, etc.) foram responsáveis por avanços significativos nos últimos 200 anos nesta direção, mas ainda há muito o que caminhar no que diz respeito ao aprendizado sobre a formação da Terra e dos organismos que nela vivem, bem como do Sistema Solar, a Via Láctea e o próprio Universo. Todos são processos históricos, isto é, processos irreversíveis.

A temperatura de qualquer corpo evolui continuamente, assim como a velocidade de um veículo em movimento. São **variáveis contínuas**. É como um filete de água vazando de uma torneira. Significa que em qualquer instante de tempo pode-se mensurá-las. Depósitos ou saques em uma conta corrente bancária só acontecem em instantes de tempo específicos; entre esses instantes de tempo nada se detecta ao tentar-se mensurar. É como o gotejamento de água

na torneira. São as chamadas **variáveis discretas**. Se todas as variáveis de estado são contínuas, o processo resultante é chamado **processo contínuo**. Quando todas as variáveis de estado são discretas, tem-se o **processo discreto**.

Colocando-se o dedo sob o vazamento da torneira, o filete de água seria sentido continuamente, enquanto o gotejamento apenas quando a gota tocasse o dedo. Entre duas gotas quaisquer poderia detectar zero ou mais gotas. Chame-se cada gota de amostra; o número de amostras em um processo discreto é finito, enquanto este número é infinito para processos contínuos (considerando-se que o processo contínuo contém uma infinidade de gotas grudadas umas nas outras).

Como não se pode armazenar um número infinito de valores, a solução é desprezar a grande maioria nos processos contínuos, ficando-se apenas com os mais significativos - é a chamada **discretização** de processos contínuos. Como a maioria dos processamentos é feita por computador digital, utiliza-se ainda a **digitalização** desses processos discretos, chegando-se ao conhecido **processo digital**.

Há processos que são repetitivos, isto é, ocorrem de forma cíclica. São os chamados **processos periódicos**. Um exemplo é um indicador de direção de veículos automotores, o famoso "pisca-pisca", já estudado neste texto como multivibrador astável. Há, nesse sistema, apenas dois estados possíveis: o estado "luz apagada" e o estado "luz acesa". No momento em que o sistema é acionado, indicando uma direção para a qual o motorista pretende seguir, o processo é iniciado, fazendo com que a lâmpada da direção escolhida (direita ou esquerda) fique acendendo e apagando. Esse processo só é encerrado quando o motorista desliga o indicador de direção.

Há processos com características de aleatoriedade. São os conhecidos **processos estocásticos**, ou processos estatísticos. São processos que quase nunca se repetem, ou melhor, a probabilidade de uma realização do processo se repetir é zero. Quem caminha quase nunca consegue pisar em suas pegadas anteriores. Mas, se ao fazer o

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

mesmo trajeto uma quantidade suficiente de vezes, é possível extrair informações sobre a forma como você realiza o trajeto.

Há uma corrente de paisagistas que, ao projetarem um jardim de uma praça pública, deixam para depois a escolha do passeio, no qual deve ser feita a passarela para que as pessoas, por ela, caminhem, para a preservação da grama. Deixam as pessoas caminharem por cima da grama por um certo tempo até que se possa ter uma ideia mais adequada do caminho preferencial médio. Neste ponto, o paisagista está pronto para concluir o projeto da passarela. Em geral, quando esse procedimento é utilizado, o caminho das pessoas pela praça raramente violenta a solicitação **favor não pisar na grama**.

5.5 Processo em Controle de Sistemas

O processo de controle de um sistema nada mais é do que levar este sistema de um estado, chamado de **estado inicial** (atual) até um estado desejado, denominado **estado final**. Raramente a transição do estado inicial para o estado final se dá em apenas uma etapa. Quase sempre é feita através de transições entre (vários) estados intermediários. Pode-se imaginar, no exemplo do Quadrado 15 acima citado, a quantidade de estados intermediários envolvidos entre os estados inicial, ilustrado na Fig. 5-6, e final, ilustrado na Fig. 5-8, deslocando-se as peças uma a uma. No entanto, no exemplo da Fig. 5-5, apenas em apenas uma etapa o estado final é alcançado a partir do estado inicial.

Como se vê, há sistemas de extrema simplicidade, bem como de extrema complexidade. Qualquer tentativa de controle de processo deve levar em conta a complexidade do sistema. Por sua alta complexidade, o governo de um país depende da escolha de variáveis de estado relevantes. Em geral, alguns indicadores sociais e econômicos fazem parte dessas variáveis; no caso do Brasil, a relevância dada à exclusão social, que antes não ocupava o centro das preocupações, trouxe resultados julgados positivos no início

deste século XXI. No entanto, outros índices problemáticos avultam tão logo o sistema integrado se modificou: evidenciaram-se obstáculos antes menos visíveis no plano da qualidade e amplitude dos serviços públicos, na infraestrutura da economia, etc. Não há soluções mágicas ou imediatas para problemas estruturais em sistemas complexos; o controle será feito conforme medidas de comando atuam gerando respostas que cabe monitorar. No caso, a avaliação global cabe, em boa medida, aos eleitores.

5.6 Tomada de Decisão e Efeitos de 2ª Ordem

Monitoração e controle integram o cotidiano de qualquer ser humano. Seja em sua vida privada, seja em atividades profissionais. A monitoração de um de sistema envolve observação, reflexão, detecção de um estado indesejado e a tomada de decisão de provocar a mudança estrutural necessária com o objetivo de efetivar a transição deste estado atual para um estado desejado. O controle, por sua vez, envolve a formulação do problema detectado na monitoração, busca de possíveis soluções, escolha da solução adequada e, finalmente, execução da intervenção no sistema, provocando de fato sua mudança estrutural. A execução da tomada de decisão representa uma **intervenção**, qualquer que seja o sistema-alvo, e tem como objetivo a mudança de um estado inicial (indesejado) para um estado final (desejado).

Um observador é capaz de distinguir um sistema, seu ambiente e a fronteira que os separa. Pode também eleger variáveis mensuráveis no sistema, definindo formalmente seu estado. Ao medir tais variáveis, é capaz de conhecer e avaliar a situação (o estado) em que se encontra o sistema em determinado instante. Caso esse estado encontrado não lhe agrade ou satisfaça, pode refletir sobre a possibilidade de efetuar a transição para outro estado que lhe pareça desejado. Desta reflexão pode surgir uma tomada de decisão para fazê-lo. A tomada de decisão deve ser seguida da especificação das ações que, em seu julgamento, serão capazes de efetuar a

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

transição do estado inicial para o estado final (desejado), bem como da avaliação de custo/benefício da iniciativa. Trata-se de planejar a intervenção do sistema-alvo.

Em geral, qualquer intervenção provocará mudança de estado. E, se o estado alcançado com as ações planejadas for o estado desejado realmente, o trabalho estará completado. No entanto, esta seria uma ocorrência idealizada. Para sistemas simples, a chance de realmente acontecer o previsto é maior. Em sistemas complexos, entretanto, raramente isso acontece, isto é, não acontece da primeira tentativa. Neste caso, o observador atento verifica que as ações planejadas não foram suficientes para alcançar o estado final desejado e repete ou corrige o procedimento, completando o que é chamado aqui de **ciclo da intervenção**.

O ciclo de intervenção pode fazer com que o sistema alcance, se não o estado desejado, mas conduzi-lo a uma região próxima deste, o que pode levar o observador a se dar por satisfeito em sua empreitada. Este pode ser considerado um caso de sucesso da aplicação do ciclo de intervenção. A intervenção também pode conduzir o sistema ao colapso. Neste caso não há nada mais a fazer. Chama-se a isso **colapso do sistema**.

Nunca é demais repetir que qualquer intervenção em um sistema provoca mudança estrutural no mesmo. E o objetivo é este mesmo, do contrário não haveria como realizar-se a transição de estado. Uma pergunta, a esta altura, é inevitável: **se a mudança estrutural conduzir o sistema ao estado desejado, pode-se afirmar que o trabalho do observador pode ser dado como concluído?** A resposta a esta pergunta é **não**. A razão para a resposta negativa é que a mudança estrutural no sistema pode desencadear mudanças estruturais no ambiente gerando **efeitos de 2ª ordem**, ou efeitos colaterais, capazes de interferir de maneira indireta sobre o sistema.

Os efeitos de 2ª ordem resultam do acoplamento estrutural entre o sistema e seu ambiente. Tanto podem ocorrer no ambiente,

desencadeados por mudança estrutural no sistema, quanto no sistema, desencadeados por mudança estrutural no ambiente.

Eis um exemplo de efeito de 2ª ordem no ambiente desencadeado por mudança estrutural no sistema. O Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, tornou-se o maior produtor de alimentos de aves e suínos, o que gerou, naturalmente, uma superprodução de esterco. Como o território está situado sobre o Aquífero Guarani, localizada no cone sul da América do Sul, uma das maiores reservas de água potável do mundo (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011), surgiu o temor

de contaminação dessa reserva subterrânea de água potável, motivando ações paralelas de preservação ambiental.

Portanto, mudanças estruturais no sistema pode desencadear mudanças estruturais no ambiente. Cabe ao responsável pela operação do sistema a responsabilidade pelos efeitos de 2ª ordem, bem como cabe ao motorista que trafega em dia chuvoso a culpa pela água que o veículo joga nas pessoas na calçada.

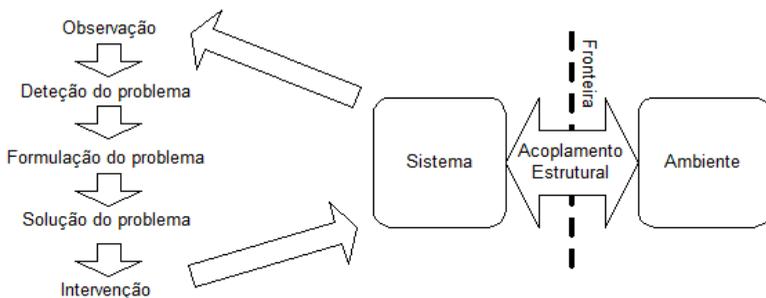


Fig. 5- 11: Diagrama do ciclo de intervenção em sistema e acoplamento estrutural com ambiente

A Fig. 5-11 ilustra o ciclo de intervenção feito no sistema. Qualquer mudança estrutural no sistema pode desencadear mudança estrutural em seu ambiente. E vice-versa. Isso decorre do acoplamento estrutural entre eles e explica os efeitos de segunda ordem.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

6 OBJETO DA TEORIA GERAL DE SISTEMAS

O todo é maior que a soma das partes.

Aristóteles

Este capítulo contém uma exposição sumária do que motivou a criação da Teoria Geral de Sistemas, seus fundamentos, objetivos e, finalmente, sua importância para a ciência em um mundo crescentemente complexo, sob os pontos de vista científico, tecnológico, social, econômico, financeiro, administrativo e político.

6.1 O Alerta de Bertalanffy

Sócrates, Platão, Aristóteles, Euclides, Arquimedes, Ptolomeu, Copérnico, Galileu, Kepler, Descartes, Roemer, Newton, Leibniz, Maxwell, Hertz, Darwin, Pierre e Marie Curie, Einstein, Grupo Bourbaki, Heisenberg e Bohr, Watson e Crick, Mayr, etc., representam alguns dos destaques de uma imensa lista de mentes brilhantes responsáveis pelos avanços e consolidação da ciência como obra do gênio humano ao longo de milhares de anos.

Na medida em que a ciência avançava, mais especialização se fazia necessária, em função da cada vez mais crescente quantidade de conhecimento científico adquirido. Não havia, portanto, como negar a necessidade dessa especialização, até como forma de melhor organizar o conhecimento crescentemente complexo; assim, o saber foi sendo paulatinamente fatiado entre disciplinas e práticas que atendiam a demandas sociais diversificadas: filosofia, matemática, física, química, biologia, economia, engenharia, medicina, direito, etc., com cada uma delas compartimentadas em (sub) disciplinas para dar conta da própria complexidade.

Foi como a explosão de fogos de artifício em céu noturno: raios luminosos formando imensas bolas coloridas. Logo após a explosão, as pontas dos raios luminosos vão se afastando

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

mutuamente cada vez mais. Considerando as pontas dos raios luminosos como as disciplinas atuais representando as especializações na ciência, não é difícil imaginar, até certo ponto, a independência mútua entre as mesmas, ou seja, cada disciplina acaba por ganhar "vida" própria. E, quanto mais a ciência avança, mais especializada vai ficando cada uma das disciplinas. Daí o alerta de Bertalanffy (1969, p. 30).

Em consequência, o físico, o biólogo, o psicólogo e o cientista social estão, por assim dizer, encapsulados em seus próprios universos privados, e é difícil o diálogo científico entre os mesmos.

Isto, entretanto, se opõe a outro aspecto significativo. Observando a evolução da ciência moderna, encontramos um fenômeno surpreendente. De forma independente, problemas e concepções similares evoluíram em campos claramente distintos.

O alerta de Bertalanffy expôs os "casulos incomunicáveis" em que se transformaram as disciplinas. Por um lado, a necessidade de especialização levou a ciência a atomizar. Mas, efeitos de segunda ordem se fizeram inevitáveis, como o que se poderia chamar de "invenção da roda" feita várias vezes, de forma independente, em disciplinas onde quer que fosse necessário, ou seja, repetida em universos conceituais aparentemente distintos.

6.2 E Bertalanffy criou a Teoria Geral de Sistemas

Esmiuçar as partes constituintes de um sistema e estudá-las à exaustão para melhor compreendê-las é um método eficaz se, e somente se, o objetivo fosse apenas esse, melhor compreendê-las. No entanto, esperar que a partir do conhecimento das partes seja possível inferir conhecimento sobre propriedades do todo, é ingenuidade (para dizer o mínimo). Um dos exemplos mais simples a ilustrar esta premissa é a molécula de água.

Composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, o conhecimento dessas duas partes jamais permitirá a inferência da

"aquosidade" da água, uma vez que o hidrogênio é combustível e o oxigênio é carburante. Nenhum dos dois, portanto, tem a propriedade de "apagar o fogo".

A rigor, essa forma de abordagem científica no contexto da hegemonia das ciências físicas beneficiadas pela revolução industrial tem o nome de **mecanicismo**. Ela atingiu praticamente a todas as áreas de conhecimento. Organismos vivos, considerados máquinas, e estudados como se o funcionamento de suas partes explicasse o funcionamento do todo. E cada um de seus órgãos também deveriam ser esmiuçados para estudar seu funcionamento, etc. Acontece que qualquer ser vivo só pode ser considerado como tal, se for visto em toda a sua inteireza, na qual o todo é mais que a soma das partes. Suzana-Herculano-Houzel (2002, p. 36) nos ensina que

Acordado ou dormindo, pensando ou sonhando, fazendo contas ou andando de bicicleta, nosso cérebro precisa sempre do mesmo volume de sangue circulando: são 750 ml, ou uma garrafa de vinho cheia, passando por minuto.

Você se espanta com a quantidade? Pois cada gotinha é necessária. Quer ver a prova? Se você já cometeu a insensatez de comer uma baita refeição e ir malhar logo depois, provavelmente teve a experiência desagradável de ver o mundo sumir ... e desmaiar. É o que os médicos - e as avós - adoram chamar de congestão. Tudo acontece por causa de uma briga por sangue. Os músculos, subitamente requisitados, tentam roubar do estômago o sangue que ele estava monopolizando para a digestão. O estômago reage violentamente, como num cabo-de-guerra, puxando tudo de volta das extremidades do corpo (por isso você fica com as mãos friiiias...). Na confusão, acaba roubando sangue do cérebro também ... e por isso você rapidamente desmaia. O que é a melhor coisa que poderia acontecer: assim você para de fazer o exercício - que, aliás, não deveria mesmo estar fazendo - e, na horizontal, o sangue rapidamente volta ao cérebro na devida quantidade.

Além de outros exemplos, Bertalanffy também afirma (1969, p. 31-32) que

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

É necessário estudar não apenas partes e processos de forma isolada, mas também resolver problemas decisivos encontrados em sua organização e unificação, resultantes da interação dinâmica das partes, o que faz os comportamentos diferentes das partes quando estudadas isoladamente ou no contexto do todo.

[...] organismos vivos são essencialmente sistemas abertos, ou seja, trocam matéria com seu ambiente. A física e a físico-química convencionais trabalhavam com sistemas fechados, e apenas nos anos recentes a teoria foi expandida para incluir processos irreversíveis, sistemas abertos e estados de desequilíbrio. Se, entretanto, queiramos aplicar o modelo de sistemas abertos para, digamos, o fenômeno do crescimento animal, automaticamente teremos de ter uma generalização da teoria, para nos referirmos não apenas às unidades físicas, mas também às unidades biológicas. Em outras palavras, estaremos concordando com sistemas generalizados. O mesmo é verdade nos campos da cibernética e da teoria da informação [...].

Quem poderia imaginar que uma empresa da época da Revolução Industrial, na Inglaterra, e da Revolução Francesa, ambas ocorridas entre 1789 e 1848, nas quais o mais importante era o capital, viesse a ser transformada para incluir, por exemplo, a responsabilidade social em seu portfólio, no começo deste século XXI? Robsbawm (1977, p. 49-50) nos ensina que

*Começemos pela revolução industrial, isto é, com a Inglaterra. Este, à primeira vista, é um ponto de partida caprichoso, pois as repercussões desta revolução não se fizeram sentir de uma maneira óbvia e inconfundível - pelo menos fora da Inglaterra - até bem o final de nosso período; certamente não antes de 1830, provavelmente não antes de 1840 ou por essa época. Foi somente na década de 1830 que a literatura e as artes começaram a ser abertamente obcecadas pela ascensão da sociedade capitalista, por um mundo no qual todos os laços sociais se desintegravam exceto laços entre o ouro e o papel-moeda (no dizer de Carlyle). A **Comédie Humaine** de Balzac, o mais extraordinário monumento literário dessa ascensão, pertence a esta década.*

A diferença gritante entre as circunstâncias existentes para as empresas, na Era das Revoluções, no dizer de Robsbawm, e neste século XXI, reflete a evolução dos meios de produção e,

consequentemente, dos critérios de gestão. A explosão populacional e a limitação de recursos não renováveis do planeta Terra, bem como as condições ambientais crescentemente adversas, impõem às empresas modernas tal responsabilidade social, que confronta a motivação única no lucro e na escala.

Tanto a empresa quanto o organismo vivo podem ser catalogados na rubrica de sistema. Independentemente de sua complexidade, satisfazem a **definição 3.1**:

Um sistema é uma construção mental de uma organização contendo uma coleção de objetos inter-relacionados perfazendo um todo (uma unidade) com alguma funcionalidade que o identifica como tal.

Ambos - organismo e empresa - tem **estrutura** própria e **fronteiras** delimitadoras de seus respectivos **ambientes**. No entanto, a catalogação como **sistema** só é possível porque há a figura do **observador**. E basta, pois seremos nós (eu, você ou outro ser humano) a estudá-los; seremos nós a fazer ciência.

Uma vez catalogado como sistema, organismo vivo, empresa, etc., podem ser estudados como tal. E a ajuda de Bertalanffy foi fundamental: **não apenas partes e processos de forma isolada, mas também resolver problemas decisivos encontrados em sua organização e unificação, resultantes da interação dinâmica das partes; essa integração resulta em comportamentos diferentes das partes quando estudadas isoladamente ou no contexto do todo.** A evolução do sistema em seu ambiente depende do acoplamento estrutural entre ambos, além de suas respectivas estruturas.

Em duzentos anos, desde a Revolução Industrial até o começo do século XXI, a empresa sofreu uma transformação dramática, como visto aqui. No entanto, este período de tempo pode não ser suficiente para notar-se grandes mudanças em organismos vivos, em geral. O próprio Darwin, ainda em vida, frustrou-se quando Lord Kelvin afirmou que a idade da Terra não chegava a 500 milhões de

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

anos, o que era muito pouco para sua Teoria da Evolução, via Seleção Natural. Apesar de continuar afirmando sua teoria, não viveu o suficiente para saber que, de fato, a Terra tinha mais que 4.5 bilhões de anos, o que veio a ser mais uma evidência de confirmação de sua teoria. Em suma, seja uma empresa, um organismo vivo ou qualquer outro, cada sistema evolui em seu ritmo peculiar.

6.3 Objetivos da Teoria Geral de Sistema

A Teoria Geral de Sistemas faz uso de todo o aparato tratado neste texto. Como tantas outras, é uma criação humana, e fruto da observação e de reflexão, formando uma visão de mundo para dar respostas a problemas crescentemente complexos, racionalizando esforços científico-tecnológicos. Com a palavra Bertalanffy (1969, p. 32),

Então, existem modelos, princípios e leis que se aplicam a sistemas generalizados, ou a suas sub-classes, não importando seu tipo particular, a natureza de seus elementos constituintes e as relações de "forças" entre eles. Parece legítimo uma teoria, não de sistemas de um tipo mais ou menos especial, mas de princípios universais que se apliquem a sistemas em geral.

*Desta forma, postulamos uma nova disciplina chamada **Teoria Geral de Sistemas**. Seu principal objetivo é a formulação e derivação dos princípios que são válidos para "sistemas" em geral.*

Ratificando o significado da Teoria Geral de Sistemas, Bertalanffy (1969) nos fala de algumas áreas do conhecimento, onde ela se aplica. A física, observa, trabalha com sistemas de "diferentes níveis de generalidade", de modo que a Teoria da Relatividade se aplica a sistemas macros, enquanto a Mecânica Quântica a sistemas micros. Há princípios de aplicação comum quer se construam pontes ou máquinas; estude-se mecânica ou ótica; questões pontuais ou de grande generalidade, como a termodinâmica, a qual se aplica a sistemas de "natureza intrinsecamente diferentes, como mecânica,

calor, química ou o que for". Em resumo, ao contrário do que antes era postulado, pode-se buscar princípios que se apliquem a sistemas em geral, independentemente se o mesmo for de natureza "física, biológica ou sociológica".

Ainda segundo Bertalanffy (1969), conceitos como organização, inteireza ou totalidade, **emergência** e teleologia são "estranhos à física convencional". No entanto, são indispensáveis tanto nas ciências da natureza quanto na compreensão de organismos ou grupos sociais. A declaração de Bertalanffy citando emergência como sendo estranha à física convencional me leva a repetir uma citação já exposta neste texto. Trata-se do trecho de uma palestra de Ernst Mayr (2008, p. 13) proferida em Copenhague no começo da década de 1950, onde estava na plateia o físico Niels Bohr, um dos pais da Mecânica Quântica.

À primeira vista, pensei que o fenômeno da emergência, como agora ele é chamado, se restringisse ao mundo vivo; [...] cheguei a afirmar que a emergência era uma das características diagnósticas do mundo vivo. [...] Portanto, quando o físico Niels Bohr, que estava na plateia, se levantou para falar durante o processo de discussão, eu estava preparado para uma refutação devastadora. No entanto, para minha grande surpresa, ele não fez nenhuma objeção ao meu conceito de emergência, mas somente à minha afirmação de que tal conceito estabelecia uma fronteira entre as ciências físicas e as biológicas. Citando o caso da água, cuja "aquosidade" não poderia ser prevista a partir das características de seus dois componentes, o hidrogênio e o oxigênio, Bohr declarou que a emergência era algo frequente no mundo inanimado.

De fato, o fenômeno da emergência não é apenas "algo frequente no mundo inanimado", mas no mundo animado também. Portanto, pode ser incluído no arsenal de conceitos, leis, propriedades, modelos, princípios e características que não são privilégios de alguma disciplina em particular, mas que são observadas em várias áreas do conhecimento, o que reforça o acerto de Bertalanffy na criação da Teoria Geral de Sistemas.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

A Teoria Geral de Sistemas é a ciência da inteireza, da totalidade. Estuda o sistema, seu ambiente, suas respectivas estruturas, a fronteira que o separa do ambiente e, finalmente o acoplamento estrutural sistema-ambiente, independentemente da área de conhecimento envolvida. É o que se convencionou chamar de **Visão Sistêmica**.

7 TEORIA GERAL DE SISTEMAS E INTERDISCIPLINARIDADE

De uma proposta de Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar, espera-se que o produto final, em geração do conhecimento e qualidade de recursos humanos formados, seja maior que a soma das contribuições individuais das partes envolvidas.

Documento de Área Interdisciplinar - CAPES, Triênio 2007 - 2009 (CAPES, 2011)

Não poderia concluir este livro sem deixar de mencionar a relação da Teoria Geral de Sistemas (TGS) com a Interdisciplinaridade. Ao ser proposta, ainda na primeira metade do século XX, ela apontou para as dificuldades de se lidar com a crescente complexidade de certos problemas. Além disso, apontou rumos que levaram à interdisciplinaridade como celeiro de discussões e propostas de soluções para problemas com tais características. Recomenda-se o livro **Balanço do Século**, que foi um ciclo de conferências promovido pelo presidente da república de Portugal, Mario Soares, em que se apresentaram mais de uma dezena de especialistas em várias áreas do conhecimento, sendo alguns deles detentores do Prêmio Nobel (GIL, 1990). Não tenho dúvidas da relevância de sua leitura a quem se propõe a desenvolver estudos interdisciplinares.

7.1 A Emergência da Interdisciplinaridade

No Brasil, a consolidação TGS ganhou um gigantesco reforço no final do século XX e começo do século XXI, justamente pela entrada em cena da CAPES - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. É o que mostra o Documento de Área Interdisciplinar, Triênio 2007 - 2009 (CAPES, 2011).

O reconhecimento da importância da introdução de uma área Multidisciplinar, em 1999, nomeada a partir de 2008

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

como Interdisciplinar, no contexto da pós-graduação da CAPES, decorre da necessidade de se dar conta de novos problemas, de diferentes naturezas e com níveis de complexidade crescentes, que emergem no mundo contemporâneo, muitas vezes decorrentes do próprio avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos, baseados em uma construção do saber notadamente disciplinar.

A natureza complexa de tais problemas pede diálogos não só entre disciplinas próximas, dentro da mesma área do conhecimento, mas entre disciplinas de áreas diferentes, bem como entre saberes disciplinares e saberes não disciplinares da sociedade e das culturas, dependendo do nível de complexidade do fenômeno a ser tratado. Daí a relevância, no mundo contemporâneo, de novas formas de produção de conhecimento que tomam como objeto fenômenos que se colocam entre fronteiras disciplinares, quando a complexidade do problema requer diálogo entre e além das disciplinas. Diante disso, desafios teóricos e metodológicos colocam-se para diferentes campos da ciência e da tecnologia.

O crescente número de cursos de pós-graduação interdisciplinares só reforça a compreensão e o reconhecimento, não apenas da CAPES, mas também da comunidade científica brasileira que respondeu prontamente a esta nova demanda de produção científico-tecnológica. Neste mesmo documento de área interdisciplinar da CAPES, vê-se a afirmação: "*De uma proposta de Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar, espera-se que o produto final, em geração do conhecimento e qualidade de recursos humanos formados, seja maior que a soma das contribuições individuais das partes envolvidas*".

Note a máxima de TGS, já citada acima: **o todo é mais do que a soma de suas partes.**

A ciência se organizou em disciplinas devido à sua origem na Grécia antiga. Essa forma de organização disciplinar da ciência facilitou a emancipação do conhecimento científico até o princípio século XX. Durante estes mais de 2000 anos, em especial a partir do Renascimento e o surgimento da ciência moderna, os avanços científicos e tecnológicos reforçaram a forma de organização em disciplinas. Para além dos efeitos de segunda ordem acima tratados, a organização disciplinar foi incapaz de resolver, ou pelo menos,

formular adequadamente problemas complexidade crescente. William H. Newell (2011) pergunta e responde:

O que a chuva ácida, o rápido crescimento populacional e o legado da Autobiografia de Benjamin Franklin tem em comum? Ainda que elaborados respectivamente a partir do alcance das Ciências Naturais, Ciências Sociais e Ciências Humanas, podem ser proveitosamente compreendidos como comportamentos de sistemas complexos, e todos eles requerem estudos interdisciplinares. Pensar cada um deles como o comportamento de um determinado sistema complexo pode ajudar a melhor entender tais fenômenos; coletivamente, eles nos ajudam a entender melhor a natureza e a condução da interdisciplinaridade.

No século XX, com o advento da Teoria Geral de Sistemas, mostrou-se que o estudo de sistemas, baseado na compreensão de suas partes constituintes para, só então, compreender-se o todo, trazia problemas insolúveis. Ao quebrar-se um sistema em suas partes constituintes, leva-se à quebra também de propriedades observadas apenas no todo, e não nas partes. A visão sistêmica, oferecida pela Teoria Geral de Sistemas, requer estudos interdisciplinares. No entanto, a interdisciplinaridade expõe desafios que precisam ser enfrentados.

7.2 Desafios docentes para a Interdisciplinaridade

A questão que se coloca é como enfrentar a natureza complexa de problemas, apontados pela Teoria Geral de Sistemas e relatados no próprio documento da área interdisciplinar da CAPES, acima citado, que pede "diálogos não só entre disciplinas próximas, dentro da mesma área do conhecimento, mas entre disciplinas de áreas diferentes, bem como entre saberes disciplinares e saberes não disciplinares da sociedade e das culturas, dependendo do nível de complexidade do fenômeno a ser tratado", se todos os sistemas educacionais existentes no Brasil ou no mundo até pouco tempo atrás, basearam-se na disciplinaridade?

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

O passo importante dado pela CAPES pegou de calças curtas a comunidade acadêmica, em geral, salvo poucos grupos de pesquisa interdisciplinares emergentes no país que, afinal, foram os principais responsáveis pela criação da área Multidisciplinar (seu primeiro nome), que depois passou a ser chamada de Interdisciplinar.

Em pouco mais de dez anos, a CAPES autorizou o funcionamento de centenas de cursos de pós-graduação interdisciplinares no Brasil, o que reflete a decisão acertada tomada pela agência de fomento à pesquisa. A exigência para a manutenção da autorização de funcionamento desses cursos é severa, o que significa que as solicitações de abertura de novos programas devem apresentar número bem maior que os de fato autorizados. No entanto, mesmo nos cursos interdisciplinares em funcionamento com o aval da CAPES, ainda encontram-se problemas de naturezas diversas, oriundos, talvez, da longevidade da tradição disciplinar.

Cada curso interdisciplinar exige a presença de, pelo menos, dois docentes na mesma sala de aula, o que leva cada docente a perder sua autonomia, não apenas no que diz respeito ao conteúdo do curso, mas também nas provas e listas de exercícios, que são partes integrantes do ensino/aprendizagem. A exigência de mais de um docente em classe se deve ao fato de que problemas complexos não podem ser tratados de forma disciplinar, e é humanamente impossível exigir formação completa de apenas um docente à amplitude de conhecimentos necessária.

Um curso de educação ambiental que busque abordagem interdisciplinar, por exemplo, terá que buscar conhecimento em várias disciplinas, como química, biologia, geografia, educação, direito, antropologia, sociologia, engenharia, etc., sem que o foco principal esteja em quaisquer dessas áreas individualmente. Um único docente não poderia ter essa formação. Talvez nem apenas dois. Mas a exigência de dois docentes em uma sala de aula pode representar um requisito mínimo para a busca de soluções pedagógicas adequadas à complexidade do problema. E isso não é nada fácil. Senão, vejamos.

O exercício da docência interdisciplinar exige uma certa vocação: tolerância, paciência, grande disposição de aprender coisas novas, em especial em áreas que diferem de sua formação básica. Leva tempo até que o grupo de docentes ganhe a experiência que a interdisciplinaridade requer.

Com cerca de quarenta anos de docência na área tecnológica, posso apresentar minha própria experiência. Como se sabe, fora da área da educação, raramente há formação pedagógica para os docentes.

A primeira vez que entrei como docente em uma sala de aula, no início dos anos de 1970, eram cerca de 80 estudantes da primeira série do segundo grau em uma escola técnica pública e gratuita. Quando estava para entrar presenciei um começo de briga entre dois estudantes dentro da sala. Minha reação foi: "Opa! Quem é o responsável pela disciplina nesta escola?" Veio alguém que conduziu os estudantes à secretaria e eu entrei na sala e anotei meu plano de aula no quadro. Poucos minutos depois, problema resolvido, trouxeram os dois de volta e pediram licença para retornar à aula. Concedida a licença, esperei que os dois sentassem e falei para todos: "Eu não sei o que você pensa sobre o que vou falar, mas eu nasci pobre e, para mim, a sala de aula é minha única fonte de alimento de busca de sustento para o resto da minha vida. Portanto, não tenho tempo a perder com briguinhas e disputas inconsequentes. Caso você não pense assim, e se desejar sair da classe, prometo não dar falta. Mas, uma vez aqui dentro, vamos aproveitar o que a educação tem para nos preparar para o futuro". Foi suficiente. Não mais tive problemas nos dois anos que permaneci na escola. É claro que algum pedagogo pode criticar minha atitude - quem sabe por imaginá-la infantil? - Mas foi a única que me ocorreu. E, como deu certo, adotei-a desde então. Se precisasse, repetiria tudo de novo.

Em geral, cada docente aprende docência exercendo-a. Tem sido assim desde sempre, pelo menos nas áreas onde a pedagogia não faz parte de sua formação básica. E é um trabalho solitário, que exige grande esforço até que se tenha maturidade no ofício. O docente,

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

então, considera sua autonomia muito cara, e com fortes tendências disciplinares. Como exigir, então, a perda desta autonomia? A não ser por vontade própria e pela compreensão do crescente aumento da complexidade dos problemas que, por acaso, venha a enfrentar, é extremamente difícil mudar este quadro. Professores costumam resistir à convivência que expõe suas fragilidades (e não são poucas, posto que humanos) conceituais e outras. No entanto, a interdisciplinaridade exige isso - e a boa notícia é que já há número cada vez maior de docentes dispostos a abraçar esta causa.

Não há como contestar a necessidade da disciplinaridade, demonstrada sua eficácia ao longo de séculos na construção da ciência moderna. Sua hegemonia, no entanto, pode não dar conta de resolver problemas cada mais complexos. O que se busca é a agregação da interdisciplinaridade nos currículos escolares (ainda predominantemente disciplinares) para que não se criem lacunas prejudiciais à formação crítica da humanidade. Talvez seja a principal razão de ser da Teoria Geral de Sistemas.

Não há obrigatoriedade, ao docente, de atuação exclusiva disciplinar ou interdisciplinar. Pelo contrário, é mesmo benéfica a atuação nas duas formas de ensino. A formação discente é a maior beneficiada. Disciplinas como Introdução à Ciência do Direito, no curso de Direito, Teoria Eletromagnética, na Engenharia Elétrica, Fenômenos de Transporte, na Engenharia Mecânica, Recuperação da Informação, em Biblioteconomia, entre outras, precisam ser aprendidas, pois são compilações de técnicas e métodos desenvolvidos ao longo da aventura científica humana na Terra. E representam o pano de fundo, ou melhor ainda, a base estrutural de estudos interdisciplinares.

Um docente, por exemplo, poderia ministrar a disciplina Introdução à Geologia, em um curso disciplinar, e Introdução à Ciência Ambiental (juntamente com outro docente) em um curso interdisciplinar, no mesmo período. A rigor, para o docente iniciante em trabalhos interdisciplinares, é extremamente salutar começar ministrando aula juntamente com um ou dois (preferencialmente)

outros docentes, especialmente se a turma de discentes for composta de estudantes com formações diversas. Isso, definitivamente, lhe mostrará, de cara, que ele não está sozinho nesta situação; quase todas as pessoas envolvidas, docentes e discentes, estão com o foco no problema complexo em questão. E, cada um, disposto a dar sua parcela de colaboração na solução pretendida pelo grupo.

7.3 Desafios Institucionais para a Interdisciplinaridade

Assim como ao docente impõem-se algumas regras, implícitas ou explícitas, o mesmo deve ser feito em relação às instituições ou organizações que adotarem esta ideia. Historicamente, infelizmente, é mais difícil mudar a visão de mundo institucional que a individual. Não é raro observar-se que grupos interdisciplinares emergentes levam anos até que sejam reconhecidos como tal por sua própria instituição. Os problemas observados não são de origem apenas conjuntural, mas principalmente estrutural; sua estrutura disciplinar está tão arraigada que torna extremamente difícil, quando não impossível, abrigar grupos interdisciplinares.

No Brasil, toda instituição pública e gratuita tem como atividade-fim três pilares: ensino, pesquisa e extensão, sendo que o primeiro pilar é obrigatório a todos os seus docentes. O regime de trabalho conhecido como dedicação exclusiva impõe ao docente que atue em pelo menos duas dessas atividades, sendo que o ensino deve, obrigatoriamente, ser uma delas. Nas instituições com estrutura departamental, todo docente é alocado em algum departamento. Todo aparato administrativo dos docentes - frequência, licença de afastamento (por questões de saúde ou de formação continuada), marcação de férias, ou fiscalização de atividades - é feito pelo departamento de origem. Isso é levado tão a sério que a divisão de recursos da instituição é feita de forma proporcional à carga didática de seus departamentos, fazendo justiça à obrigatoriedade da atividade-fim ensino. Para uma instituição exclusivamente disciplinar não há como negar o acerto desta política administrativa;

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

no entanto, ela dificulta ao extremo a possibilidade de emergência de grupos interdisciplinares. Vejamos o porquê.

Grupos emergentes interdisciplinares, em instituição de ensino superior, são compostos de docentes de vários departamentos, quando a mesma é assim estruturada. Imagine que este grupo resolva criar um curso de pós-graduação interdisciplinar *stricto sensu* (mestrado e/ou doutorado) e o apresente à instituição. Após os trâmites legais internos nessa instituição (que pode levar meses, ou até anos), o projeto seja encaminhado à CAPES (no Brasil, claro) para a devida análise e julgamento (ao contrário das instituições, a CAPES costuma ser bem mais rápida neste processo de julgamento). Suponha ainda que o curso seja aprovado e o curso comece. A partir daí, os problemas e desafios do grupo interdisciplinar começam.

Primeiro porque o curso de pós-graduação criado não pertence (e nem poderia pertencer) a algum departamento já instalado. Portanto, a carga horária de suas disciplinas não são contabilizadas para efeitos de divisão dos recursos institucionais. O docente que atua nestes cursos não tem como alocar horário docente institucional e, muito menos, orientação de suas teses e dissertações, para efeito de sua carga de trabalho, o que a faz aumentar significativamente. Para resolver este problema, uma solução (não, talvez, a única) tem sido adotada, a criação de um departamento próprio para abrigar o curso. Novos desafios, no entanto, se seguem. Um deles é a resistência dos departamentos existentes em ceder professores para o novo, porque, assim, perdem carga didática, com a consequente perda na divisão de recursos institucionais.

Urge que reflexões institucionais deem conta desses novos desafios. A pesquisadora Lisa R. Lattuca dá uma brilhante ilustração sobre os problemas encontrados por grupos interdisciplinares emergentes. Falando sobre os desafios institucionais, ela é taxativa logo no início de seu livro (LATTUCA, 2001; p. 1),

De forma cartesiana, usamos nossas habilidades analíticas para dividir o mundo em unidades cada vez menores, na esperança de que, entendendo

as partes, eventualmente entenderemos o todo. Nossas escolas, desde o ensino fundamental até a educação superior, nos ensinam que o conhecimento é dividido em disciplinas acadêmicas. Quanto mais escolaridade ganhamos, mais reforçamos nosso sentimento disciplinar.

Disciplinas fornecem a justificativa para a estrutura departamental das faculdades e universidades dos EUA e influenciam fortemente os compromissos da faculdade; práticas de contratação, promoção e posse; missões de ensino; recrutamento de estudantes e de inscrição, e até mesmo práticas contábeis.

Voltada para os Estados Unidos, que também, e há muito tempo, adota a estrutura departamental (certamente o modelo que o Brasil copiou), Lattuca nos orienta quanto ao que acontece no Brasil. Mais do que a dificuldade na criação de cursos interdisciplinares e sua manutenção em bom conceito junto à CAPES, o problema bem maior se encontra na instituição que deveria ser a primeira a abraçar e enfrentar o desafio científico-tecnológico que o mundo moderno impõe. Por insistência dos próprios grupos interdisciplinares e também da CAPES (no caso brasileiro), não tardará a época em que esses desafios, como em outras eras, encontrarão soluções duradouras, até que novos desafios surjam como resultado do tripé ensino-pesquisa-extensão, atividades primeiras e últimas de instituições tão importantes para a sociedade.

O conhecimento representa o alicerce de uma sociedade que se prenuncia como **sociedade do conhecimento**. Suas **engenharia, gestão e disseminação** estão na base que serve de apoio para as continuadas construção e manutenção dessa etapa civilizatória. Sob o ponto de vista científico não há área que seja mais importante que outras: todas compõem o edifício científico construído pela humanidade ao longo de milhares de anos, seu tesouro maior. Saber profundamente como o conhecimento se constrói, como é administrado e que forma deve ser disseminado, para que a humanidade, não apenas consiga entendê-lo, mas fundamentalmente, usufruí-lo, é o mínimo que se tem a fazer. Caso contrário, não há

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

razão para existirem instituições voltadas para ensino, pesquisa e extensão, especialmente as sustentadas com recursos públicos.

REFERÊNCIAS

- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F.. **Aquífero Guarani**. Disponível em: <http://www.oaquiferoguarani.com.br/>. Acesso em: 23 set. 2011.
- ATLAN, H. **Viver e Conhecer**. Tradução por Maurício Roberto Campelo de Macedo e Isa Maria Hetzel de Macedo. Disponível em: <<http://www.ppgcsa.com.br/leitura13.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2004.
- ATLAN, H. **O livro do conhecimento**: as centelhas do acaso e a vida. Conhecimento Espermático. Lisboa : Instituto Piaget, 2000, Tomo I. ISBN: 972-771-302-5.
- BBC. **Instintos**: o lado selvagem do comportamento humano. São Paulo : Editora Abril, 2005.
- BALAKRISHNAN, V. Schaum's outline of graph theory: including hundreds of solved problems. New York : McGraw-Hill, 1997.
- BERTALANFFY, L. von. **General System Theory**: foundations, development, application. New York : George Braziller, 1969.
- BODANIS, D. **E = mc²**: uma biografia da equação mais famosa do mundo e o que ela significa. Rio de Janeiro : Ediouro, 2001.
- BOHR, N. **Física atômica e conhecimento humano**: ensaios 1932 - 1957. Rio de Janeiro : Contraponto, 1995.
- BROOKS, R. A. Intelligence without representation. **Artificial Intelligence**, v. 47, n. 1-3, p. 139-159, jan. 1991.
- BUNGE, M. **Emergence and convergence**: qualitative novelty and the unity of knowledge. Toronto : University of Toronto Press, 2003.
- CAPES. **Documento de área interdisciplinar**: triênio 2007 - 2009. http://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacao/INTER_03ago10.pdf. Acesso em: 15 out. 2011.
- CHAUI, M. S. **Convite à filosofia**. 8. ed. São Paulo: Atica, 1997.
- CONNOR, J. A. **A bruxa de Kepler**: a descoberta da ordem cósmica por um astrônomo em meio a guerras religiosas, intrigas políticas e o julgamento por heresia de sua mãe. Rio de Janeiro: Rocco, 2005.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

COPÉRNICO, N. **Commentariolus**: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes. Introdução, tradução e notas Roberto de Andrade Martins. São Paulo : Nova Stella; Rio de Janeiro: Coppe, 1990.

DAMASIO, A. R. **O erro de Descartes**: emoção, razão e o cérebro humano. São Paulo: Companhia das letras, 1996.

DAMASIO, A. R. **O mistério da consciência**: do corpo e das emoções ao conhecimento de si. São Paulo : Cia das Letras, 2000.

DAMASIO, A. R. **Ao encontro de Espinosa**. Lisboa : Publicações Europa-América, 2003.

DAMASIO, A. R. Como o cérebro cria a mente. **Scientific American Brasil**, n.4, p. 6-11, 2004. Edição Especial: Segredos da Mente.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. São Paulo: Hemus, 1981.

DARWIN, C. **A origem das espécies**. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/ffa/arquivos/abril/darwin1.pdf>. Acesso em: 09 maio 2011.

DAWKINS, R. **A grande história da evolução**: na trilha de nossos ancestrais. São Paulo, Companhia das Letras, 2009.

EINSTEIN, A. **O significado da relatividade**. Coimbra : Armênio Amdao, 1984.

EINSTEIN, A. **A teoria da relatividade especial e geral**. Rio de Janeiro : Contraponto, 1999.

EUCLIDES. **Os Elementos**. Tradução e introdução de Irineu Bicudo. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 4. ed. Curitiba : Ed. Positivo; 2009.

FESTIVAL Folclórico de Parintins. Disponível em: < <http://www.parintins.com.br/index.asp>>. Acesso em: 01 set. 2010.

GALILEI, G. **A mensagem das estrelas**. Rio de Janeiro : Museu de Astronomia e Ciências Afins : Salamandra, 1987.

GIL, F. (Org.) **Balço do Século**: Ciclo de conferências promovido pelo presidente da república. Lisboa : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1990. (Estudos Gerais; Série Universitária).

- GLEISER, M. Criação imperfeita: cosmo, vida e o código oculto da natureza. Rio de Janeiro : Editora Record, 2010.
- GLEISER, M. A harmonia do mundo: aventuras e desventuras de Johannes Kepler, sua astronomia mística e a solução do mistério cósmico, conforme reminiscências de seu mestre Michael Maestlin. São Paulo : Companhia das Letras, 2006.
- HUBBLESITE. Disponível em: <<http://hubblesite.org/>>. Acesso em: 11 maio 2011.
- HAWKING, S. Os gênios da Ciência: sobre os ombros de gigantes. Rio de Janeiro : Elsevier, 2005.
- HEISENBERG, W. A parte e o todo: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política. Rio de Janeiro : Contraponto, 1996.
- HERCULANO-HOUZEL, S. O cérebro nosso de cada dia: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. Rio de Janeiro, Vieira & Lent, 2002.
- _____, S. O cérebro nosso de cada dia: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. Disponível em: <http://www.cerebronosso.bio.br>. Acesso em: 21 set. 2010.
- _____, S. O cérebro nosso de cada dia: para que lado a bailarina gira? Disponível em: <http://www.cerebronosso.bio.br/para-que-lado-a-bailarina-gira>. Acesso em: 21 set. 2010.
- HOBBSAWM, E. J. A era das revoluções: 1789-1848. Rio de Janeiro : Paz e Terra, 1977.
- HOFFMAN, D. D. **Inteligência visual**: como criamos o que vemos. Rio de Janeiro : Editora Campus, 2000.
- HUNT-GRUBBE, C. The elementary DNA of Dr Watson. **The Sunday Times**, 14 de outubro de 2007.
- JACOB, F. Como a evolução constrói novidade com o antigo. In: GIL, F. (Org.) **Balanco do Século**: ciclo de conferências promovido pelo presidente da república. Lisboa : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1990. (Estudos Gerais; Série Universitária).
- KIRSH, D. **Today the earwig, tomorrow man?** Artificial Intelligence, v. 47, n. 1-3, p. 161-184. Jan. 1991.

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

KUHN, T. S. Estrutura das revoluções científicas. São Paulo : Editora Perspectiva, 1982.

LAS CASAS, R. Contando estrelas. 1999. Disponível em: <<http://www.observatorio.ufmg.br/pas08.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2010.

LATTUCA, L. R. Creating interdisciplinarity: interdisciplinary research and teaching among college and university faculty. Nashville : Vanderbilt University Press, 2001.

LEHAR, S. **Steve Lehar's Homepage**. Disponível em: <<http://cns-alumni.bu.edu/~slehar/>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

LEITE, A. **Depuração para Projeto e Adição de Novas Camadas Produtoras de Atividade em Robôs Móveis Autônomos Inteligentes**. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 1993.

MARTINS, R. A. O nascimento de uma nova física. Scientific American Brail: Gênios da Ciência, n. 13, p. 6-13, 2006. (ISSN 1807-8273)

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo : Palas Athena, 2003.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **De máquinas e seres vivos: autopoiese: a organização do vivo**. Porto Alegre : Artes Médicas, 1997.

MAYR, E. **Biologia, ciência única**. São Paulo : Companhia das Letras, 2005.

MAYR, E. **Isto é biologia: a ciência do mundo vivo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

MAYR, E. **O que é evolução**. Rio de Janeiro : Rocco, 2009.

MC Carthy, J. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/>, acesso em 08 agosto 2011)

MORITA, A. **Made in Japan: Akio Morita e a Sony**. São Paulo : Livraria Cultura, 1986. 334p.

MOURÃO, R. R. F. Kepler: a descoberta das leis do movimento planetário. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

- MOURÃO, R. R. F. Explicando a Teoria da Relatividade. Rio de Janeiro : Ediouro, 2005.
- MUSEU AEROESPACIAL - Força Aérea Brasileira. Santos Dumont 14 Bis “Canard”. Disponível em <http://www.musal.aer.mil.br/14_bis.htm>. Acesso em: 05 nov 2011.
- NEWELL, W. H. A theory of interdisciplinary studies. Issues in Integrative Studies, n. 19, pp. 1-25, 2001. Também disponível em http://www.units.muohio.edu/aisorg/pubs/issues/19_Newell.pdf, acesso em 15 out 2011.
- NEWTON, I. Ótica. São Paulo : Editora EDUSP, 2002. ISBN 8531403405.
- NEWTON, I. Principia: princípios matemáticos de filosofia natural. São Paulo : Nova Stella: Editora da Universidade de São Paulo. 1990.
- NICOLAU, de Cusa. A douta ignorância. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2003. 141p.
- PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro : LTC Editora, 1987.
- PLATÃO. **A república**. São Paulo : Hemus, 1970.
- PLATÃO. **Alegoria da Caverna**. Lisboa : Editora Esquilo, 2002. ISBN: 9728605110.
- POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. Rio de Janeiro : Interciência, 1978.
- POPPER, K. R. **Em busca de um mundo melhor**. Lisboa : Editora Fragmentos, 1992.
- PTOLOMEU. The almagest. In: ENCYCLOPAEDIA Britannica: Great Books of Western World, v. 16. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952.
- REDONDI, P. **Galileu herético**. São Paulo : Companhia das Letras, 1991. ISBN 9788571641679.
- REZENDE, M. F. **Desenvolvimento de um Robô Móvel Autônomo Inteligente**. 1992. Dissertação (mestrado) - Programa de

Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade

Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 1992.

SAINT-EXUPÉRY, A. O pequeno príncipe. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/53313368/O-Pequeno-Principe-Antoine-De-Saint-Exupery>> . Acesso em: 12 set. 2011.

GALILEU : o universo em movimento: de olho nos astros. **Scientific American Brasil**: gênios da Ciência, São Paulo, n. 5, [2006]. ISSN: 1807-8273.

SKYPE. <<http://www.skype.com>> . Acesso em: 12 set. 2011

SIMON, H. A. **A racionalidade humana e seus limites**. In: GIL, F. (Org.) **Balço do Século**: ciclo de conferências promovido pelo presidente da república. Lisboa : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1990. (Estudos Gerais; Série Universitária).

SKYTTNER, L. **General systems theory**: an introduction. London : MacMillan Press, 1996.

SIMON, H. A. **As ciências do artificial**. Coimbra : Armênio Amado, 1981.

THURSTON, R. H. **A history of the growth of the steam-engine**. New York : D. Appleton and Company. 1878. Disponível em <<http://www.history.rochester.edu/steam/thurston/1878/>>, Acesso em: 10 jan 2012.

UTKIN, V. I. Sliding modes and their application in variable structure systems. Moscow : MIR Publishers, 1978.

VARELA, F. O caminho faz a trilha. In: W. I. Thompson (org.). **Gaia**: Uma teoria do conhecimento. São Paulo : Editora Gaia. 2000, p. 45-60.

WATSON, J. D. **DNA**: o segredo da vida. São Paulo : Companhia das Letras, 2003.

WATSON, J. D.; CRICK, F. H. C. A structure for deoxyribose nucleic acid. **Nature**, v. 171, p. 737-738, 1953. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2011.

WIENER, N. **Cibernética e sociedade**: o uso humano de seres humanos. 7.ed. São Paulo : Cultrix, 2000.

WILSON, E. Os manuscritos do Mar Morto: 1947-1969. São Paulo : Companhia de Bolso, 2009.

ZADEH, L. A.; POLAK, E. **System Theory**. New York : McGraw-Hill, 1969.

ZIMMER, C. **O Livro de Ouro da Evolução**: o triunfo de uma idéia. Rio de Janeiro : Ediouro, 2003.

Em qualquer área do conhecimento está presente o conceito de sistema.

Bertalanffy não apenas conseguiu visualizá-lo, mas foi além: percebeu e registrou que, sem ele e sem uma teoria que lhe desse suporte, problemas de complexidade crescente não poderiam ser equacionados ou, sequer, resolvidos. Criou e desenvolveu, então, a Teoria Geral de Sistemas. Este livro é uma pequena contribuição para, não somente homenageá-lo, mas fundamentalmente mostrar a contemporaneidade das ideias do mestre, mesmo depois da gigantesca explosão científico-tecnológica observada nos últimos cinquenta anos.

▲ • ■

João Bosco da Mota Alves.

Paraense, formação: engenharia elétrica, graduação (UFPA, 1971), mestrado (UFSC, 1973), doutorado (COPPE/UFRJ, 1981).

Professor nas universidades federais UFPA (1973-1988), UFU (1989-1995) UFSC (desde 1996). Trabalhou no

CTI/Campinas, Divisão de Robótica (1983-1986). Autor do livro Controle de Robô (Campinas, Cartgraf, 1988).

Criador do Laboratório de Experimentação Remota - RExLab/UFSC. Áreas de atuação: Teoria Geral de Sistemas, Acessibilidade e Inclusão Social, Engenharia do Conhecimento, Experimentação Remota.



Este livro destaca a contemporaneidade das ideias de Bertalanffy esboçadas em sua Teoria Geral de Sistemas, mesmo após a explosão científico-tecnológica observada meio século depois, num esforço para a consolidação dos princípios que norteiam a interdisciplinaridade da ciência.

Ilustra o fato de que todo ser humano, dotado pela evolução de uma mente consciente, possui uma visão de mundo própria, individual e única, que depende, dentre outras coisas, de sua ontogenia, de sua história de vida. E, como vive em sociedade, não é difícil constatar-se a emergência de uma visão de mundo coletiva, que identifica seu grupo social.

Apresenta a evolução da visão de mundo coletiva, que jamais se dissociou de crenças e mitos, mesmo com o advento da ciência moderna e do resultante enorme conhecimento sobre o universo. Inclui a necessidade do conceito de sistema para compreensão do mundo em que vivemos, de como é concebido, e de sua relação com o ambiente ao qual está inserido. Inclui suas principais características, introduz algumas inovações, fruto de deduções decorrentes de trabalhos de grandes mestres, como Maturana e Varela, e Ernst Mayr (acoplamento estrutural e o fenômeno da adaptação). Aborda a monitoração e controle de sistemas, e conceitos fundamentais, como estado de um sistema e sua estabilidade.



Patrocinado por:

Patrocinado por:



ISBN 978-85-99406-38-0



FINK & SCHAPPO CONSULTORIA Ltda.