RICARDO BORGATTI NETO

**PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE
APLICADAS À GESTÃO DE EMPRESAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia

São Paulo
2008

RICARDO BORGATTI NETO

**PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE
APLICADAS À GESTÃO DE EMPRESAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientador:
Professor Doutor
Afonso Carlos Corrêa Fleury

São Paulo
2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Borgatti Neto, Ricardo.

Perspectivas da complexidade aplicadas à gestão de empresas / R. Borgatti
Neto – São Paulo, 2007.

309 p.

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Produção.

1. Complexidade 2. Gestão 3. Sistemas complexos I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção. II. t.

Precisamos superar a idéia tão predominante, tanto no círculo acadêmico quanto no burocrático, de que o trabalho que vale a pena considerar seriamente é a pesquisa altamente detalhada em uma especialidade. Precisamos celebrar as contribuições igualmente vitais daqueles que ousam dar o que eu chamo de “um olhar estimativo sobre o todo”.

Murray Gell-Man
Prêmio Nobel em 1969,
descobridor
do Quark

AGRADECIMENTOS

Obrigado a todos que se envolveram nesse empreendimento.

Em especial, agradeço:

Ao Professor Dr. Afonso Carlos Corrêa Fleury: pela oportunidade de ousar.

Ao Professor Dr. Sérgio Baptista Zaccarelli: pela iluminação intelectual.

Ao amigo Dr. Eduardo Antonio Ferrari Lopez: pelo companheirismo.

Ao amigo Sociólogo Alexandre Furniel: pelos debates acalorados.

Ao amigo Filósofo Fábio Meira e à professora Mônica: pelas indicações e apoio.

Aos meus sócios que compreenderam minhas ausências.

Aos Familiares e demais amigos: por sentirem minha falta, mas compreenderem.

E à minha esposa e companheira professora e Psicóloga Anna Regina: pelo amor e carinho em todos os momentos.

RESUMO

O presente trabalho explora como duas abordagens gerais da complexidade – ciências da complexidade e pensamento complexo – estão influenciando e podem vir a influenciar a gestão de sistemas organizacionais produtivos. Constata-se um aumento de publicações que relacionam a Complexidade à Gestão. Por meio de análise de conteúdo de trabalhos acadêmicos internacionais e nacionais identifica-se uma diminuição na ênfase inicial sobre teoria do caos e fractais e uma tendência recente na exploração da dinâmica de redes, ao mesmo tempo em que modelos baseados em agentes são cada vez mais explorados (associados à idéia de sistemas adaptativos complexos – SAC). Na produção nacional nota-se também a presença de idéias de cunho mais filosófico relacionadas à complexidade, notoriamente as do pensamento complexo do francês Edgar Morin. Com base na história do pensamento científico são identificados fundamentos do paradigma mecanicista dominante e fatores que estão contribuindo para transição de fase desse paradigma, relacionados ao aumento de complexidade na ciência e ao surgimento das ciências da complexidade. Estas ciências são caracterizadas como um processo evolutivo da Teoria Geral de Sistemas e possuem uma diversidade de contribuições em evolução, as quais têm sido utilizadas como referência para teorias e modelos de gestão de sistemas organizacionais produtivos. Explora-se a importância do desenvolvimento de um pensamento ‘mais’ complexo e sua relação com a gestão. Apresenta-se uma discussão crítica sobre o uso de conceitos relacionados à complexidade, ressaltando-se que não existe um modelo de uma ‘Teoria Geral da Complexidade’. Avalia-se como esses conceitos são e podem vir a ser aplicados na Engenharia de Produção, por meio de: estudo de caso sobre o desenvolvimento e implementação de um *sistema auto-organizado de solução de problemas* em uma empresa de Agrobusiness; análise crítica, sob a ótica da complexidade, de trabalhos da área; e apresentação de propostas teóricas para aplicação do pensamento complexo. Conclui-se que as perspectivas da complexidade estão diretamente relacionadas a uma mudança de paradigma – na abrangência de um supra-paradigma, nos moldes de Kuhn – que passou do seu ponto de retorno, e que tais perspectivas afetarão cada vez mais a gestão de sistemas produtivos.

ABSTRACT

The present work explores how two general approaches of complexity – complexity sciences and complex thought – are influencing and may come to influence productive organizational systems management. An increase in publications relating Complexity to Management can be observed. By analyzing the content of international and Brazilian academic works, a decrease in the initial emphasis on the chaos theory and fractals is identified as well as a recent trend in the exploration of networks dynamics, at the same time at which models based on agents are more and more explored (associated to the idea of complex adaptative systems – CAS). In the Brazilian production, also noticed is the presence of ideas of a more philosophical characteristic related to complexity, notoriously those of complex thought by the French Edgar Morin. Based on the history of scientific thought, foundations of the dominant mechanist paradigm are identified as well as factors that are contributing to this paradigm phase transition, concerning the increase in complexity in science and to the emergence of complexity sciences. These sciences are characterized as an evolutive process of the General Theory of Systems and count on a wide range of contributions in evolution, which have been used as a reference for theories and models of productive organizational systems management. The importance of the development of a ‘more’ complex thought and its relationship with management are explored. A critical discussion is presented on the use of concepts related to complexity, pointing out that there is not a model for a ‘General Theory of Complexity’. How these concepts are and may come to be applied in Production Engineering is evaluated, by means of: case study on the development and implementation of a *problem-solving self-organized system* in an Agribusiness company; critical analysis, under the complexity view, of works in the area; and presentation of theoretical proposals for applying complex thought. It is concluded that the perspectives of complexity are directly related to a change in paradigm – in the comprehensiveness of a supra-paradigm, following Kuhn’s models – which went beyond its turning point, and that these perspectives will more and more affect productive systems management.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS E MAPAS CONCEITUAIS

1ª PARTE – INTRODUÇÃO

1. Introdução geral: situação problemática, definição do tema e objetivo do estudo ..	1
2. Justificativa do tema “Complexidade”, principais referências teóricas e estudo bibliométrico	5
3. Definição do problema e das proposições	20
4. Design do Projeto de Pesquisa	21
4.1. Tipo de pesquisa e método utilizado	21
4.2. Limitações da pesquisa	40

2ª PARTE – COMPLEXIDADE E GESTÃO NA ACADEMIA

5. Evolução da gestão de sistemas organizacionais produtivos e necessidades de abordagens mais complexas	42
6. Estudo de artigos que relacionam Complexidade à Gestão:	70
6.1. Análise de artigos acadêmicos de 1995 a 1999	72
6.2. Análise de artigos acadêmicos depois de 2000	76
6.3. Comparação dos artigos e Mapa Conceitual da Complexidade [1]	79
7. Estudo de outras publicações que relacionam Complexidade à Gestão	92
7.1. Análise de tese e dissertação	92
7.2. Comparação das publicações e Mapa Conceitual da Complexidade [2]	97
8. Discussão geral da evolução da gestão, dos artigos, tese e dissertação	106

3ª PARTE – DESENVOLVIMENTO DAS PERSPECTIVAS DA

COMPLEXIDADE

9. O paradigma simplificador do mecanicismo e sua fase de transição	110
10. Perspectivas da Complexidade	156
10.1. Sistemas Complexos e Teoria Geral de Sistemas: potencialidades e limitações e sua relação com a Gestão	161

10.2. Desenvolvimento das “Ciências da Complexidade/Complexidade na Ciência” e sua relação com a Gestão	195
10.3. Desenvolvimento do Pensamento ‘mais’ Complexo e sua relação com a Gestão	224
10.4. Perspectivas da Complexidade: críticas e tendências	250

4ª PARTE – COMPLEXIDADE NA GESTÃO DE SISTEMAS

PRODUTIVOS

11. Aplicação prática: estudo de caso com observação participante	257
11.1. Sistema auto-organizado de solução de problema aplicado à indústria de Agronegócio	257
12. Aplicação teórica: Análise crítica e propostas	267
12.1. Análise crítica de trabalhos existentes	267
12.2. Propostas teóricas para aplicação do Pensamento ‘mais’ Complexo	274

5ª PARTE – CONCLUSÕES

13. Mudança de Paradigma na Gestão: Consolidação ou Modismo?	281
14. Conclusão final	287
15. Sugestões e orientações para novos estudos	289

ELEMENTOS PÓS-TEXTO

- Bibliografia	291
- Apêndices:	
A. Análise de conteúdo dos artigos	i
B. Análise de conteúdo da tese e da dissertação	xxxiv
C. Abalos do paradigma mecanicista – detalhamento	l
D. Informações adicionais sobre Ciências da Complexidade	lxxvii

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidades de artigos por ano	12
Tabela 2: Quantidades de artigos por cada cinco anos	12
Tabela 3: Quantidades de artigos por autor (acima de um artigo)	13
Tabela 4: Quantidades de artigos por origem (acima de um artigo)	14
Tabela 5: Quantidades de livros por ano	15
Tabela 6: Quantidades de livros por cada cinco anos	16
Tabela 7: Quantidades de livros por autor (acima de um livro)	17
Tabela 8: Estratégias Metodológicas para verificação das proposições	29
Tabela 9: Comparativo de propostas de evolução da Administração Geral	49
Tabela 10: Comparativo de propostas de evolução da Adm. da Produção	63
Tabela 11: Artigos selecionados de 1995 a 1999	72
Tabela 12: Artigos selecionados depois de 2000	76
Tabela 13: Análise do tópico 1 dos artigos: ‘definição da complexidade’	79
Tabela 14: Análise do tópico 2 dos artigos: ‘Referência à uma teoria da complexidade’	80
Tabela 15: Análise do tópico 3 dos artigos: ‘evolução da complexidade’	81
Tabela 16: Análise do tópico 4 dos artigos: ‘Abordagem teórica da complexidade’	82
Tabela 17: Análise do tópico 5 dos artigos: ‘Principais termos relacionados à complexidade’	83
Tabela 18: Análise do tópico 6 dos artigos: ‘proposta de aplicação da complexidade à gestão’	85
Tabela 19: Análise do tópico 7 dos artigos: ‘perspectiva futura da complexidade’	89
Tabela 20: Tese e dissertação selecionadas para análise	92

Tabela 21: Análise do tópico 1 da Tese e da Dissertação: ‘definição da complexidade’	97
Tabela 22: Análise do tópico 2 da Tese e da Dissertação: ‘Referência a uma teoria da complexidade’	97
Tabela 23: Análise do tópico 3 da Tese e da Dissertação: ‘evolução da complexidade’	98
Tabela 24: Análise do tópico 4 da Tese e da Dissertação: ‘Abordagem teórica da complexidade’	99
Tabela 25: Análise do tópico 5 da Tese e da Dissertação: ‘Principais termos relacionados à complexidade’	100
Tabela 26: Análise do tópico 6 da Tese e da Dissertação: ‘proposta de aplicação da complexidade à gestão’	102
Tabela 27: Análise do tópico 7 da Tese e da Dissertação: ‘perspectiva futura da complexidade’	104
Tabela 28: Síntese comparativa de todas as contribuições acadêmicas analisadas	109
Tabela 29: Contribuições para a construção da Mecânica Clássica	115
Tabela 30: Síntese dos abalos do mecanicismo e seus desdobramentos	131
Tabela 31: Dimensões abstratas favoráveis à construção de um novo paradigma	150
Tabela 32: Abordagens sistêmicas <i>hard</i> x <i>soft</i>	182
Tabela 33: Livros de gestão relacionados com as ciências da complexidade ..	219
Tabela 34: Relação entre Ciências da Complexidade e Gestão	222
Tabela 35: Paradigma Simplificador <i>versus</i> Paradigma da Complexidade	232
Tabela 36: Ilustração do pensamento complexo aplicado à estratégia empresarial	273

LISTA DE FIGURAS E MAPAS CONCEITUAIS

Figura 1: Modelo orientador do estudo	4
Figura 2: Gráfico de quantidades de artigos por ano	12
Figura 3: Gráfico de quantidades de artigos por cada cinco anos	13
Figura 4: Gráfico de quantidades de artigos por autor (acima de um artigo) ..	14
Figura 5: Gráfico de quantidades de artigos por origem (acima de um artigo)	15
Figura 6: Gráfico de quantidades de livros por ano	16
Figura 7: Gráfico de quantidades de livros por cada cinco anos	17
Figura 8: Gráfico de quantidades de livros por autor (acima de um livro)	18
Figura 9: Modelo para metodologia de pesquisa de Laville e Dionne (1999, p. 47)	21
Figura 10: Modelos de pesquisa baseado em Glaser e Strauss (Flick, 2004, p. 61)	22
Figura 11: Metodologia adotada para o presente trabalho	23
Figura 12: Princípio de assimilação de Ausubel (Moreira 1999, p.24)	35
Figura 13 – Formas de aprendizagem propostas por Ausubel (<i>apud</i> Pozo, 1998, p. 218, tab. 7.4)	36
Figura 14: Mapa conceitual da metodologia para elaborar o próprio mapa (Novak e Gowin, 1996, p. 30 fig. 3.3)	37
Figura 15: Relação entre modelo/teoria, práticas/técnicas, ambiente e conhecimento científico (adaptado de Zilbovicius, 1999, p. 28, fig. 1)	47
Figura 16: A proposta de evolução da Administração de Produção de Gaither e Frazier (2001, p.7, fig. 1.1)	62
Figura 17: Proposta representacional da evolução da gestão, considerando as escolas de Administração e a Gestão da Produção	68
Mapa Conceitual 1: Mapa conceitual da complexidade 1 (artigos internacionais)	91

Mapa Conceitual 2: Mapa conceitual da complexidade 2 (Dissertação e Tese nacionais)	105
Figura 18: Linha do tempo do desenvolvimento da Mecânica Clássica	114
Figura 19: Ciência e Pensamento 1	120
Figura 20: Ciência e Pensamento 2	121
Figura 21: Consolidação do Paradigma Mecanicista	126
Figura 22: Abalos do mecanicismo – do séc. XIX até meados do XX	130
Figura 23: Dimensões tratadas pela física	135
Figura 24: Ciências fundamentais e dimensão meso	137
Figura 25: Manifestações dos saberes nas dimensões meso	141
Figura 26: Complexidade na ciência	142
Figura 27: Fase de transição do paradigma mecanicista	145
Figura 28: Evolução para um paradigma da complexidade	149
Figura 29: Teoria Geral de Sistemas como proposta de uma metaciência	168
Figura 30: Complexidade na abordagem sistêmica	177
Figura 31: Evolução da abordagem sistêmica na gestão	187
Figura 32: A falha do Paradigma Sistêmico com base na Teoria Geral de Sistemas	193
Figura 33: Ciências da complexidade e ciências da humanidade	199
Figura 34: Relação entre as áreas de estudo da complexidade e as ciências ...	201
Figura 35: Ciências da complexidade: proposta de organização	202
Figura 36: Ciências da complexidade: autores relevantes	202
Figura 37: Ciências da complexidade e complexidade na ciência	203
Figura 38: Evolução das ciências da complexidade e seu efeito na gestão	223
Figura 39: Evolução das ciências da complexidade e seu efeito na gestão	223

Figura 40: Saberes fundamentais transdisciplinares	244
Figura 41: Possível <i>gap</i> entre ciência e pensamento na abordagem de sistemas	249
Figura 42: Tratando <i>hubs</i> no sistema auto-organizado de solução de problemas	265
Figura 43: Dinâmica de Sistema de Forrester versus Modelo Baseado em Agentes	269
Figura 44: Estrutura Tríplice	276
Figura 45: Transição para o novo ‘supra-paradigma’	284

1ª PARTE - INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO GERAL: SITUAÇÃO PROBLEMÁTICA, DEFINIÇÃO DO TEMA E OBJETIVO DO ESTUDO

O objetivo deste capítulo é apresentar as inquietações intelectuais que levaram à escolha do tema, sua delimitação e o objetivo do estudo.

Através do esforço coletivo a capacidade de produção do homem alcançou resultados que se mostraram muito além daqueles possíveis de serem alcançados pelos esforços individuais. Assim, diversas dinâmicas organizacionais desses esforços produtivos foram se desenvolvendo ao longo da história da humanidade.

A economia de mercado tornou as empresas, ou seja, os sistemas organizacionais produtivos, as instituições centrais da nossa sociedade. Conseqüentemente, a busca incessante de receitas para o sucesso na economia de mercado estimula a criação e o uso de uma diversidade de modelos de gestão. Mas, conforme Pascale (1994, p. 11 e 12):

“Nada é tão frágil como o sucesso [...] apesar do vasto arsenal de técnicas modernas de administração, não temos um bom desempenho quando se trata de manter saudáveis as companhias bem sucedidas”.

Conforme esse mesmo autor (*ibidem*, p. 13 a 26), existe um consumismo crescente de modismos empresariais sem uma reflexão mais profunda sobre os princípios básicos por trás das propostas, tal que, continua-se “tentando aplicar os *instrumentos* de transformação sem uma correspondente modificação em nossa *mentalidade* administrativa”.

Será que as principais alternativas de modelos de gestão propostas para os sistemas empresariais produtivos ao longo do século XX, cujo uso transpassa para o atual século XXI, estiveram “presas” a determinada forma de pensamento?

As contribuições que surgiram com a ciência clássica¹ no século XVII provocaram um progresso acelerado na construção do conhecimento e nas realizações tecnológicas, as quais transformam a sociedade cada vez mais, dentro de uma mesma geração. Segundo Mészáros (2004, p. 246):

“... a segunda metade do século XVII marcou o clímax do envolvimento positivo da ciência em uma grande luta de emancipação ideológica contra as formas anteriores de controle ideológico obscurantista e [de] interferência no desenvolvimento das forças produtivas. Com sua participação ativa nos confrontos ideológicos cruciais, a ciência contribuiu significativamente para a vitória do movimento do Iluminismo e para limpar o terreno para seu próprio desenvolvimento futuro, e também, ao mesmo tempo, para o desenvolvimento prático da Revolução Industrial. Em consequência disso, nasceu um novo tipo de relacionamento entre ciência, tecnologia e indústria, que sustentou a realização de potencialidades produtivas da sociedade em uma extensão anteriormente inimaginável”.

Ainda segundo esse mesmo autor (*ibidem*, p. 246), “com esse novo relacionamento entre ciência e produção também surgiu no horizonte um novo modo de legitimação ideológica, que desde então se mostrou extremamente poderoso”.

Neste caso, com base na idéia de paradigma científico estabelecido por Thomas S. Kuhn na década de 1960 (Kuhn, 1997, p. 91), supõe-se a formação de um “supra-paradigma”, desenvolvido sobre os fundamentos da ciência clássica, que passou a exercer influência sobre o pensamento ocidental em todas as áreas de conhecimento.

Sob essa perspectiva, surge o pressuposto que, ao se difundir novos conhecimentos científicos, que provocam impacto na maneira de entender e imaginar o mundo, eles passam a exercer influência em todas as outras áreas de conhecimento, em maior ou

¹ A ciência clássica, também denominada de moderna, surge principalmente devido ao progresso da ciência da natureza no campo da física, combinado com novos recursos da matemática, por volta do séc. XVII.

menor grau. Isto incluiria os conhecimentos e práticas relacionados à área da Engenharia de Produção e da Administração² em geral.

Entretanto, utilizando a linguagem da dinâmica de sistemas de informações: a extensão de um novo paradigma da ciência para outras áreas pode ocorrer com um atraso (*delay*). Assim, mesmo quando novas propostas estão surgindo na área das ciências da natureza, em outras áreas como a das ciências humanas o uso de um antigo paradigma ainda pode ser dominante.

A ciência clássica, cujo alicerce está voltado para as ciências da natureza – em especial a física –, tem como propósito “estabelecer um sistema coerente de regularidades, dedutível de um número pequeno de leis gerais (como Newton, diz-se, realizou tão triunfantemente na física)” (Berlin, 2002, p. 60). E ainda, com base nessa ciência, “se julgou durante muito tempo que o universo fosse uma máquina determinista impecável; alguns ainda crêem que uma equação-chave revelaria seu segredo” (Morin, 1996a, p. 23).

Assim, será que os fundamentos clássicos, com abordagem reducionista e baseados no raciocínio linear determinista, que tanto impulsionaram o desenvolvimento de tecnologias que impactaram nosso desenvolvimento, seriam suficientes para lidar com a complexidade relacionada à dinâmica das organizações empresariais na sociedade atual?

O presente estudo tem origem na inquietude provocada por essas questões, procurando estabelecer uma relação entre gestão e um novo corpo de conhecimento que está sendo reunido sob a denominação de “Complexidade”³, que conta com novas contribuições científicas e de pensamentos filosóficos.

Um aspecto importante a ser considerado é a relação do tema complexidade com a teoria de sistemas, pois a discussão das organizações como sistemas complexos tem

² Administração, gestão e *management* serão termos utilizados como equivalentes ao longo do trabalho.

³ Associada a termos como “teoria da complexidade”, “ciências da complexidade” e “pensamento complexo”.

origem na Teoria Geral de Sistemas, difundida na década de 1960 (Anderson, 1999, p. s/n). Assim, qualquer estudo do desenvolvimento do corpo de conhecimento da complexidade aplicada à gestão deve posicionar-se em relação à Teoria Geral de Sistemas, estabelecendo os principais pontos em comum, complementaridades e diferenças.

Define-se como *tema do trabalho*: “complexidade aplicada à gestão de sistemas organizacionais produtivos”, sendo seu *objetivo*: “contribuir na organização e entendimento dos conceitos relacionados à complexidade e como eles podem ser úteis na revisão e construção de modelos de gestão”.

De forma sintetizada, o desenvolvimento do presente trabalho e suas principais etapas podem ser visualizados na figura 1 abaixo.

Figura 1: Modelo orientador do estudo

2. JUSTIFICATIVA DO TEMA “COMPLEXIDADE”, PRINCIPAIS REFERÊNCIAS TEÓRICAS E ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

O objetivo desse capítulo é apresentar argumentos que justifiquem a importância do tema, bem como suas principais referências teóricas, além de um estudo bibliométrico.

Tem havido um discurso crescente quanto ao aumento de complexidade no ambiente organizacional e a inadequação das propostas de modelos tradicionais de gestão, alguns desses muitas vezes classificados como variações de temas antigos.

Ao mesmo tempo, na literatura gerencial, há um aumento progressivo da inclusão de termos, e até de modelos de gestão, relacionados ao discurso das “novas ciências da complexidade”. Segundo Stacey (2002, p. 1 e 2003, p. 44), isso se deve ao fato do tema ter sido popularizado pelos seguintes livros de jornalismo científico: “*Chaos: making a new science*”, de James Gleick, publicado originalmente em 1987⁴; “*Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos*”, de M. Michell Waldrop, publicado originalmente em 1992; “*Complexity: life at the edge of chaos*”, de Roger Lewin, publicado originalmente em 1993⁵.

A palavra “complexidade” remete à idéia de algo “confuso, complicado e intricado” (Ferreira, 1998, p. 441), e ainda, conforme Morin (2001, p. 7), “a palavra complexidade não possui uma nobre herança filosófica, científica ou epistemológica. Suporta pelo contrário uma pesada carga semântica, porque transporta no seu seio confusão, incerteza e desordem”.

“Mas a complexidade não se reduz à complicação. É qualquer coisa de mais profundo, que emergiu várias vezes na história da filosofia” (Morin, 1996b, p. 14), e surge também nas ciências naturais, sociais e na matemática, através de contribuições isoladas, antes de poder ser compreendida através de uma nova perspectiva, mais ampla, de conhecimento.

⁴ Existe tradução da obra para o português, de 1990, citada na bibliografia.

⁵ Também existe edição traduzida para o português, de 1994, citada na bibliografia.

A origem da palavra está no termo grego *complexus*, que significa ‘o que tece junto’. Assim, do ‘ponto de vista estrutural’, pode-se associar a idéia de complexidade à “um conjunto de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados” (Morin, 2001, p. 20), e do ‘ponto de vista de processo’ ela pode ser entendida como um “tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações e acasos que constituem nosso mundo” (*ibidem*).

Estabelecida a complexidade como objeto de estudo, pode-se considerar ainda adequada a afirmação de Waldrop (1992, p. 9): “um assunto que é tão novo e abrangente que ninguém sabe defini-lo, ou até mesmo onde estão suas fronteiras”. Mas a verdade é que a “complexidade é uma idéia que faz parte da experiência do nosso dia-a-dia” (Nicolis e Prigogine, 1989, p. 6), e “o estudo de tal comportamento [complexo] certamente revelará características comuns entre diferentes classes de sistemas e nos permitirá alcançar o correto entendimento da complexidade” (*ibidem*, p.8).

Entende-se que hoje existem duas grandes correntes que exploram o tema complexidade: uma voltada para uma abordagem mais filosófica, mais subjetiva e mais relacionada às paixões e complexidades das relações humanas – *a corrente da necessidade de um pensamento ‘mais’ complexo* –, e outra mais embasada nas ciências naturais, na matemática e na modelagem computacional, mais voltada para a busca da formalização científica – *a corrente da(s) ciência(s) da complexidade*. Mesmo dentro de cada uma dessas correntes pode-se encontrar idéias concorrentes ou até mesmo conflitantes.

Assim, ao se pensar em uma ‘teoria geral da complexidade’, talvez o máximo que se possa alcançar é uma proposta de organização das idéias existentes até o momento, que busque concatenar essas abordagens não só nos seus aspectos complementares, mas também nos seus aspectos concorrentes e antagônicos, lembrando que esse é um tema ainda em desenvolvimento.

A corrente da necessidade do pensamento ‘mais’ complexo tem como principal proposta o conjunto de princípios e idéias organizados sobre o título de *pensamento complexo* que tem como propositor e divulgador Edgar Morin, “de formação transdisciplinar, mais que filósofo, sociólogo, epistemólogo, Morin desenvolveu estudos universitários em direito e como autodidata em diversas áreas como história, geografia, sociologia e filosofia” (Pena-Vega, Almeida e Petraglia, 2001, p. 8).

Morin é considerado por muitos como um dos maiores pensadores vivos da humanidade e o principal representante do desenvolvimento do pensamento complexo. Suas idéias exercem grande influência na área de comunicação e educação, inclusive de forma significativa no Brasil. Escritor de muita produção, Morin apresenta nas suas obras forte ligação com princípios da cibernética, da teoria geral de sistemas e também com a biologia, estabelecendo profundas relações com autores reconhecidos nessas áreas. Há uma disseminação cada vez maior de centros de estudos⁶ relacionados à proposta do pensamento complexo de Morin.

Já a corrente da(s) ciência(s) da complexidade tem como principais pesquisadores e divulgadores os cientistas do “*Santa Fe Institute*”⁷ (tais como: o biólogo Stuart Kauffman; os ganhadores do prêmio Nobel em física Philip Anderson e Murray Gell-Man e o economista W. Brian Arthur). Esse instituto possuiu como apoio para divulgação de suas idéias a publicação de livros sob a ótica do jornalismo científico, em especial três livros já citados que foram de grande sucesso para iniciação do público em geral ao tema: de Gleick, de Waldrop e de Lewin. Existem outras contribuições expressivas, como a da “física do não equilíbrio”, do ganhador do Nobel em química Ilya Prigogine.

⁶ No Brasil já existem alguns, tais como o Instituto de Estudos da Complexidade no Rio de Janeiro (<http://www.iecomplex.com.br/>), o núcleo de estudo NEMESS da PUC/SP (<http://www.pucsp.br/nemess>) e o GRECON, que também é um grupo de estudos da complexidade, resultado da evolução de um grupo de estudo ligado à pós-graduação da UFRN (<http://www.ufrn.br/grecom/index.html>).

⁷ Fundado em 1984 com o propósito de fomentar pesquisas multidisciplinares nas fronteiras da ciência. Entre suas afiliações corporativas estão, entre outras, as seguintes empresas: Citicorp; Ernst & Young, Exxon Mobile, Honda, Intel, McKinsey, Microsoft, Procter & Gamble e Toyota.

Atualmente, existem diversos centros de estudos relacionados ao tema ciência(s) da complexidade. Stacey (2003, p. 43) menciona a existência de centros em Bruxelas (Bélgica), Áustria e Texas (EUA), que estão encabeçados por Prigogine; em Stuttgart (Alemanha), há um encabeçado por Haken, e existe ainda um outro na Flórida (EUA), encabeçado por Scott Kelso.

Mas, como veremos no decorrer deste trabalho, as correntes do pensamento complexo e da(s) ciência(s) da complexidade possuem pontos em comum, principalmente em suas origens, tal que existe uma espécie de relação recorrente entre elas.

Diante da atual dinâmica do mundo empresarial e das incertezas dos acontecimentos, a gestão empresarial e a economia estão sempre ávidas por alternativas para tratar a imprevisibilidade e a turbulência no mundo globalizado dos negócios. Ao se aproximarem da complexidade, os autores relacionados à gestão e à economia têm demonstrado uma relação predominante, até o momento, com a linguagem da(s) *ciência(s) da complexidade*.

Já a educação formal, principalmente nas áreas de filosofia, sociologia e didática de ensino, tem se aproximado com mais intensidade do *pensamento complexo*. O autor tomado como referência só poderia ser o proponente do modo de pensar complexo, o já referido Edgar Morin. Devido à grande influência e abrangência dos pensamentos de Morin, suas idéias já permeiam os discursos de gestão, e o próprio autor dedicou um capítulo sobre o assunto no seu livro “Introdução ao pensamento complexo” (2001). O título do capítulo é “A complexidade e a empresa”.

Assim, a questão da complexidade aplicada à gestão organizacional não pode deixar de considerar tanto os fundamentos das perspectivas da(s) ciência(s) da complexidade como as contribuições para um pensamento ‘mais’ complexo.

No Brasil, apesar do tema “complexidade” ainda ser pouco explorado na área de gestão de sistemas organizacionais, cada vez mais se nota nos textos da área a

presença de teorias e termos relacionados ao tema, tais como: caos, sistemas adaptativos complexos, dinâmica não linear, sensibilidade às condições iniciais, auto-organização, emergência, estruturas dissipativas, atratores estranhos, fractais, transdisciplinaridade etc.

Por exemplo, observa-se a existência de uma publicação de artigo com o título “Teoria do caos e as organizações” de Wagner Peixoto Paiva, no caderno de pesquisas em administração do programa de pós-graduação em administração da FEA/USP no segundo trimestre de 2001. E ainda, através da pesquisa realizada em 06/03/2004 e posteriormente em 11/09/2005 no portal do conhecimento www.saber.usp.br encontrava-se uma única dissertação de mestrado que relacionava o tema complexidade à gestão. A autoria dessa dissertação é de Fabrizio Giovannini com o título “As organizações e a complexidade: um estudo dos sistemas de gestão de qualidade”, defendida em 2002 na FEA/USP - São Paulo. Esse material evoluiu para a publicação do livro “Organização eficaz”, em 2004, em co-autoria com seu orientador, o Prof. Dr. Isak Kruglianskas.

Ainda nessa linha, vale a pena citar dois outros livros, originados, respectivamente, de Dissertação de Mestrado e Tese de Doutorado em Engenharia de Produção na UFRJ: “Gestão da mudança: caos e complexidade nas organizações”, publicado em 1999 pela editora Atlas, que teve como base a dissertação de mestrado apresentada em 1998 por seu autor, Ruben Bauer, e “Complexidade e organizações: em busca da Gestão Autônoma”, publicado em 2003, igualmente pela editora Atlas, baseada na tese de doutorado apresentada em 2001 pela autora Márcia Esteves Agostinho.

Em uma pesquisa na biblioteca virtual da Unicamp, realizada também em 06/03/2004, foram encontradas dissertações e teses dentro das ciências sociais que abordavam, em trabalhos relacionados à economia, a teoria da complexidade voltada para o uso de modelos matemáticos baseados em sistemas não-lineares (tese de doutorado de Kamimura, 2000) e à educação, abordando a transdisciplinaridade e pensamento complexo de Edgar Morin, sendo que entre esses trabalhos, a dissertação de mestrado “Tendências paradigmáticas na pesquisa educacional”, de Paulo Gomes

Lima (2001- p. 210), afirma taxativamente: “não identificamos nenhum trabalho que abertamente declarasse ter como diretriz básica o paradigma da complexidade no programa de pós-graduação (mestrado e doutorado) em educação na Unicamp/SP”.

Com o intuito de se estabelecer uma visão mais ampla das contribuições teóricas existentes foi realizado em 08/2006 um estudo bibliométrico, apresentado a seguir.

Estudo bibliométrico

Pritchard (*apud* Guedes e Borschiver, 2005, p. 3) define bibliometria⁸ da seguinte forma: “todos os estudos que tentam quantificar os processos de comunicação escrita”. Guedes e Borschiver (*ibidem*, p. 2) ainda fazendo referência à autora Pritchard, cita que:

“[Pritchard] notou que a literatura é ingrediente chave no processo de comunicação do conhecimento. E ainda, que o atributo de uma unidade de literatura, que existe em forma publicada, isto é, artigos de periódicos e livros, pode ser estudado em termos estatísticos. Ela acrescenta que publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e periódicos são alguns dos parâmetros observáveis em estudos bibliométricos da literatura. Esses estudos tentam quantificar, descrever e prognosticar o processo de comunicação escrita”.

O levantamento bibliográfico foi realizado com o objetivo de identificar contribuições relevantes relacionadas ao tema deste trabalho. Foram utilizadas seis *search engines*: DEDALUS, CSA, SCIENCE DIRECT, WEB OF SCIENCE, PROQUEST E SCOPUS. O estudo bibliométrico utilizando essas bases focou especificamente artigos e livros, separadamente.

⁸ “O termo *statistical bibliography* – hoje Bibliometria – foi usado pela primeira vez em 1922 por E. Wyndham Hulme [...] existia um consenso entre autores dedicados ao assunto, de que o termo *statistical bibliography* não era de todo satisfatório, o que se verificava inclusive pelo seu escasso emprego na literatura. Assim, o termo Bibliometria (em inglês *Bibliometrics*) é sugerido para denominar a área em questão” (Guedes e Borschiver, 2005, p. 2)”.

As pesquisas nessas bases de dados foram realizadas com as seguintes palavras-chave: teoria do caos, caos, teoria da complexidade, complexidade, auto-organização, emergência, sistema adaptativo e sistema não linear, com seus termos equivalentes em inglês. Para uma busca mais completa utilizou-se variáveis dos termos e termos correlatos que remetiam ao tema, de acordo com as peculiaridades de cada base.

Para o tratamento bibliométrico, procurou-se excluir títulos identificados como não pertinentes ao tema, estando associados a ele apenas por uma questão semântica, e aqueles cuja ausência de dados não permitiam categorização. Mas sabe-se que nem todos aqueles que foram mantidos que abordavam o tema podem tratar a questão da complexidade segundo o conteúdo deste estudo. Também foram excluídas todas as referências que se repetiram nas buscas para que não aparecessem mais de uma vez na lista. Nos poucos casos onde o autor foi identificado como tendo produzido um capítulo de um livro, o mesmo foi considerado como autor de obra literária.

O resultado do levantamento, com base nas *search engines*, está apresentado em tabelas e figuras de gráficos a seguir. Os dados foram agrupados por ano, por autor (apresentando a relação) e por origem (da mesma forma foram apresentadas apenas as fontes com mais de uma publicação), lembrando que a pesquisa foi realizada em agosto de 2006, ano esse que deve, portanto, ser tomado como “incompleto”, pois esse fator refletirá nos resultados apresentados.

Tabela 1: Quantidades de artigos por ano

Ano	Quantidade
1977	1
1980	1
1985	1
1989	3
1990	4
1991	3
1992	2
1993	8
1994	15
1995	8
1996	12
1997	10
1998	17
1999	17
2000	16
2001	13
2002	19
2003	15
2004	16
2005	16
2006	11
Total	208

Figura 2: Gráfico de quantidades de artigos por ano **Tabela 2: Quantidades de artigos por cada cinco anos**

Ano	Quantidade
1975 a 1979	1
1980 a 1984	1
1985 a 1989	4
1990 a 1994	32
1995 a 1999	64
2000 a 2004	79
2005 a 2006	27
Total	208

Projeção para 2009 = 90

Figura 3: Gráfico de quantidades de artigos por cada cinco anos **Tabela 3: Quantidades de artigos por autor (acima de um artigo)**

Autor	Quantidade
Mckelvey, B.	5
Eisenhardt, Kathleen M.	4
Anderson, Philip.	3
Burnes, B.	3
Eijnatten, F. M. Van	3
Fitzgerald, L. A.	3
Horgan, John.	3
Lichtenstein, B. B.	3
Stacey, Ralph D.	3
Babaoglu, O.	2
Bechtold, Brigid L.	2
Choi, Thomas Y.	2
Cilliers, P.	2
Darling, J. R.	2
Dolan, S. L., Garcia, S., Auerbach, A.	2
Dooley, Kevin J.	2
Galen, M. C.	2
Halmi, Aleksandar	2
Inayatullah, Sohail.	2
Jelasity, M.	2
Jenner, R.	2
Laddaga, R.	2
Lissack, M.	2
Long, Rebecca G.	2
Macintosh, R.	2
Marclean, D.	2
Mathews, K. Michael.	2
Mcbride, N.	2
Meyer, Alan D.	2
Mouck, T.	2
Overman, E. Sam.	2
Sardar, Ziauddin	2
Styhre, Alexander	2
Tsoukas, Haridimos	2
White, Michael C.	2
Zuijderhoudt, Robert W. L.	2

Figura 5: Gráfico de quantidades de artigos por origem (acima de um artigo)

Tabela 5: Quantidades de livros por ano

Ano	Quantidade
1972	1
1975	1
1979	1
1981	1
1984	3
1985	1
1986	2
1987	1
1989	3
1990	1
1991	2
1992	5
1993	6
1994	8
1995	6
1996	8
1997	5
1998	9
1999	7
2000	8
2002	4
2003	4
2004	2
Total	89

Figura 6: Gráfico de quantidades de livros por ano

Tabela 6: Quantidades de livros por cada cinco anos

Ano	Quantidade
1970 a 1974	1
1975 a 1979	2
1981 a 1984	4
1985 a 1989	7
1990 a 1994	22
1995 a 1999	35
2000 a 2004	18
Total	89

Figura 7: Gráfico de quantidades de livros por cada cinco anos

Tabela 7: Quantidades de livros por autor (acima de um livro)

Autor	Quantidade
Stacey, Ralph D.	7
Prigogine, Ilya.	4
Axelrod, Robert M.	3
Handy, C.	3
Kauffman, Stuart	3
Devaney, Robert L.	2
Gell-Mann, M.	2
Gonzales, Maria Eunice Quilici	2
Griffin, D.	2
Kiel, Douglas L.	2
Lorenz, E. N.	2
Yorke, James A	2

Figura 8: Gráfico de quantidades de livros por autor (acima de um livro)

Uma análise geral dos resultados apresentados nas tabelas e figuras de gráficos indica que as bases estão muito mais atualizadas em relação a artigos do que em relação a livros, pois, na prática, o mercado editorial apresenta uma quantidade bem maior de livros relacionados ao assunto.

Observa-se que a quantidade de artigos acumulada pelos últimos períodos de cinco anos apresenta tendência de crescimento, o que demonstra relevância crescente do tema.

No que se refere aos autores com mais de dois artigos publicados sobre o tema, podemos observar Ralph Stacey como um dos que mais se destaca, tanto na produção de artigos quanto de livros, e teve um dos seus artigos selecionados para análise. Outros dois autores relacionados, Philip Anderson e Alan D. Meyer, também tiveram artigos selecionados como objeto de estudo deste trabalho.

Quanto aos periódicos, os seis principais relacionados ao tema são: *Futures*, *Organization Science*, *Emergence*, *Journal of Organizational Change Management*,

Journal of Business Research e *Strategic Management Journal*. Tomou-se o *Organization Science* como principal fonte de referência para seleção dos artigos.

Apesar de não ter sido o foco do estudo bibliométrico, foram localizadas mais cinco dissertações e duas teses produzidas no Brasil relacionadas ao tema⁹. Entre essas, uma tese e uma dissertação foram selecionadas para estudo neste trabalho (as mais recentes).

Livros e artigos que abordam diretamente a aplicação da complexidade na gestão de empresas estão sendo cada vez mais conhecidos. Constata-se, inclusive, um aumento de iniciativas de autores nacionais para abordar o tema.

Portanto, é reconhecida a importância gradativamente maior que o tema complexidade tem alcançado dentro das ciências humanas, e em especial relacionada aos sistemas organizacionais produtivos. Tratada com a profundidade e abrangência que seu conteúdo permite, a complexidade pode se concretizar como uma nova abordagem para o desenvolvimento da gestão organizacional.

⁹ 1- “Processo de planejamento como sistema adaptativo”, dissertação (Mestrado em Engenharia) apresentada em 1982 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por Julieta Pinheiro Martinelli; 2- “Contribuição à teoria de sistemas adaptativos”, tese (Doutorado em Engenharia de Eletricidade) apresentada em 1984 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por Roberto Moura Sales; 3- “Aplicação da teoria dos sistemas adaptativos em processos de decisão”, dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) apresentada em 1987 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por Waldemar Gara Filho; 4- “Aplicação de técnicas não lineares em séries financeiras”, dissertação (Mestrado em Economia) apresentada em 1998 na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo por Mário Luiz Gatti Pagano; 5- “Criatividade e auto-organização”, dissertação (Mestrado em Biociências) apresentada em 1999 no Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro por Yara Aparecida Couto; 6- “A organização de trabalho em grupos sob a perspectiva da complexidade: um estudo de caso”, dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) apresentada em 2005 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por Luz Angélica Guio Torres; 7- “Modelo de gestão não linear: a teoria do caos e complexidade aplicada à gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis”, tese (Doutorado em Administração) apresentada em 2005 na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo por Estevão Anselmo.

3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E DAS PROPOSIÇÕES

O objetivo deste capítulo é apresentar uma definição clara do problema, e as proposições¹⁰ a ele subjacentes.

A problemática principal em que o presente estudo está envolvido será abordada com a seguinte pergunta: Será que as perspectivas da complexidade indicam uma mudança de paradigma (na forma de Kuhn) na gestão de sistemas organizacionais produtivos, tal que o paradigma emergente já passou do “ponto sem retorno”?

Complementando a pergunta, seguem as proposições que orientam a pesquisa:

1. Diante da efemeridade de modelos de gestão, já existe a busca de conceitos da complexidade para proposição de novos modelos e práticas de gestão, mesmo sem uma organização geral e uma orientação unificada (foco da 2ª Parte).
2. A maioria das construções conceituais e práticas elaboradas desde o início do século XX estão sob forte influência do pensamento científico clássico – incluindo os modelos de gestão. Novos conhecimentos científicos associados a novas formas de pensamento estão contribuindo para a construção de um novo paradigma, que incorpora melhores explicações das dinâmicas de sistemas com comportamento complexo, assim como novas formas de pensamento ‘mais’ complexo. Tais contribuições podem fornecer subsídios para a construção e desenvolvimento de novos modelos e práticas de gestão, mas não sem uma abordagem crítica (foco da 3ª Parte).
3. As perspectivas da complexidade geram implicações na gestão de sistemas organizacionais produtivos, com questões particularizadas na Engenharia de Produção. Novas possibilidades para abordar e construir modelos de gestão de sistemas produtivos podem ser consideradas com base na complexidade (foco da 4ª Parte).

¹⁰ Proposições e Hipóteses serão utilizados como termos equivalentes, e tratam-se de pressupostos utilizados para orientar a pesquisa, tanto na sua estrutura quanto em seu conteúdo.

4. DESIGN DO PROJETO DE PESQUISA

O objetivo deste capítulo é apresentar a arquitetura lógica e metodológica que serviu de base para realizar o estudo.

4.1. Tipo de pesquisa e método utilizado

Considerando que o presente trabalho tem seu objetivo¹¹ voltado para um tema ainda em desenvolvimento, dinâmico, com múltiplas abordagens e envolvendo novos conceitos relacionados a diferentes áreas, e ainda, pela natureza predominantemente conceitual e teórica da pesquisa, entende-se que a abordagem qualitativa com enfoque predominante em pesquisa bibliográfica é a estratégia de trabalho mais apropriada à complexidade da questão. Conforme Oliveira (1997, p. 117) “está correto afirmarmos que a pesquisa qualitativa tem como objetivo situações complexas ou estritamente particulares”. E ainda, conforme González Rey (2005, p. 89), ao se referir à pesquisa qualitativa: “o objetivo central é a construção de modelos teóricos compreensivos e com valor explicativo sobre sistemas complexos [...]”. A metodologia da pesquisa tem como referência a adaptação da proposta de Christian Laville e Jean Dionne (Laville e Dionne, 1999, p. 47). A proposta na forma original está apresentada na figura 9, a seguir.

Figura 9: Modelo para metodologia de pesquisa de Laville e Dionne (1999, p. 47)

¹¹ “Estabelecer como as contribuições relacionadas à complexidade podem ser úteis na revisão e construção de modelos de gestão”

O modelo acima será adaptado principalmente com o objetivo de incorporar o preceito de circularidade do modelo de pesquisa da *grounded theory*. Conforme Flick (2004, p. 57), enquanto a pesquisa experimental ou quantitativa pode ser realizada em uma seqüência linear de etapas, na pesquisa qualitativa existe uma interdependência mútua das partes isoladas do processo, idéia desenvolvida na abordagem de pesquisa do tipo *grounded theory*. A idéia de circularidade pode ser mais bem compreendida através da comparação dos modelos linear e circular representados na figura 10, a qual foi extraída em sua forma original de Flick (*ibidem*, p. 61), e, segundo esse autor, está baseada na proposta de Glaser e Strauss (*apud ibidem*).

Figura 10: Modelos de pesquisa baseado em Glaser e Strauss (Flick, 2004, p. 61)

Assim, integrando o ‘modelo orientador do estudo’ apresentado anteriormente na figura 1, com o modelo de referência da figura 9 e com a idéia de circularidade da segunda parte da figura 10, foi elaborada a metodologia que será utilizada no presente estudo, representada na figura 11.

Figura 11: Metodologia adotada para o presente trabalho

Na sequência serão detalhadas as fases do modelo metodológico utilizado.

Fase 1 – Introdução e Justificativa

Baseado em Laville e Dionne (1999, p. 47), esta fase envolve duas etapas:

Etapa 1a: Conscientizar-se de um problema

Etapa 1b: Torná-lo significativo e delimitá-lo

Etapa 1a: Conscientizar-se de um problema

“O que nos leva a tomar consciência de um problema [...] ou a formular nossas inquietações iniciais como os outros preferem dizer?” (*ibidem*, p. 89). Segundo os autores citados, esse processo é relacionado a uma combinação de conhecimentos e valores pessoais.

Neste estudo, a inquietação intelectual do autor, relacionada à situação problemática que envolve complexidade e gestão, está apresentada no cap. 1 (1ª Parte). Ali, além de questionamentos para caracterização da problemática, foram definidos o tema e o objetivo do estudo, os quais, para lembrança, estão transcritos abaixo:

“Define-se como *tema do trabalho*: ‘complexidade aplicada à gestão de sistemas organizacionais produtivos’, sendo seu *objetivo*: ‘estabelecer como as contribuições relacionadas à complexidade podem ser úteis na revisão e construção de modelos de gestão’”.

Etapa 1b: Torná-lo significativo e delimitá-lo

“ [...] há o desvendamento e a consideração crítica dos elementos da problemática, ou seja, especialmente, a visualização do problema a partir dos conhecimentos dos quais já se dispõe, conceitos e eventualmente teorias em questão, bem como os pontos de vista particulares do pesquisador sobre o problema e sua solução. Esse procedimento conduz progressivamente o pesquisador a precisar seu problema de pesquisa, a circunscrevê-lo, a delimitá-lo [...]” (*ibidem*, p. 98 e 99).

No cap. 2, na 1ª Parte, está apresentada a justificativa do tema, ou seja, o porquê se considera o tema significativo. Ainda nesse mesmo capítulo foram estabelecidos os parâmetros iniciais que circunscrevem e delimitam a pesquisa. Essa delimitação estabelece que o enfoque da complexidade aplicada à gestão deve considerar, além de suas contribuições próprias, duas perspectivas: a da(s) ciência(s) da complexidade

e a do pensamento ‘mais’ complexo. Ainda no cap. 2 (1ª Parte) está apresentado um estudo bibliométrico que esclarece a crescente relevância do tema.

Fase 2 – Problema, proposições e Design do projeto

As etapas foram baseadas em Laville e Dionne (1999, p. 47), tendo sido acrescentada a etapa 2c. Assim, serão consideradas três etapas:

Etapa 2a: Formular o problema delimitado em forma de pergunta

Etapa 2b: Elaborar uma ou mais proposições

Etapa 2c: Elaborar o design do projeto

Etapa 2a: Formular o problema delimitado em forma de pergunta

“Assim que um pesquisador deseje circunscrever mais estritamente um problema, é levado a questionar seus elementos, o que, para ele, é um meio cômodo de precisar o problema, reformulando-o em forma de pergunta” (*ibidem*, p.105).

Conforme Laville e Dionne (*ibidem*, p. 106), consegue-se definir precisamente o problema quando o mesmo é traduzido na forma de pergunta, o que permite objetivar e racionalizar a problemática. A pergunta orientadora do presente estudo foi apresentada no cap. 3 (1ª Parte), e está reapresentada a seguir:

“Será que as perspectivas da complexidade indicam uma mudança de paradigma (na forma de Kuhn) na gestão de sistemas organizacionais produtivos, tal que o paradigma emergente já passou do “ponto sem retorno”?”

Etapa 2b: Elaborar uma ou mais proposições

Conforme Laville e Dionne (*ibidem*, p. 124) a hipótese [proposição] é o ponto de chegada e o ponto de partida da pesquisa. No modelo desses autores estão definidos três itens relacionadas a essa questão:

2b-1: Analisar os dados disponíveis

2b -2: Formular as proposições tendo consciência de sua natureza provisória

2b-3: Prever suas implicações lógicas

2b-1: Analisar os dados disponíveis

Laville e Dionne (*ibidem*, p. 111 a 113) sugerem que conhecer e revisar a literatura em torno da questão é fundamental para elaboração das hipóteses [neste estudo denominadas também “proposições”] e para revisão da pergunta, se for o caso. Os principais autores, mas não únicos, tomados como referência para leitura ‘inicial’ que auxiliaram na elaboração das proposições, são os seguintes:

- Ciência da Complexidade: Gleick e Lewin
- Pensamento complexo: Morin
- Complexidade aplicada à gestão organizacional: Stacey

2b-2: Formular as proposições tendo consciência de sua natureza provisória

Foram realizadas três proposições, apresentadas anteriormente, no cap. 3 (1ª Parte).

2b-3: Prever suas implicações lógicas

Cada proposição está relacionada com as Partes subseqüentes do trabalho para verificação das hipóteses – 2ª, 3ª e 4ª Partes (cap. 5 ao 14) –, conforme indicado junto à apresentação das proposições no cap. 3 (1ª Parte). Em função da relação circular e recorrente das partes, a avaliação de seu conjunto permitirá a validação ou invalidação efetiva das proposições relacionadas, o que será realizado na conclusão.

Etapa 2c: Elaborar o design do projeto

O início deste capítulo apresenta o design do projeto (figura 11) e as inter-relações entre as fases, as quais estão detalhadas ao longo deste mesmo capítulo.

Fase 3 – Verificar as proposições

“Hipóteses diversas, necessidades diferentes” (Laville e Dionne, 1999, p. 130).

Baseado no modelo apresentado por Laville e Dionne (*ibidem*, p. 47) o processo de verificação de cada proposição envolve as seguintes etapas:

Etapla 3a: Decidir sobre novos dados necessários

Etapla 3b: Recolher, analisar, avaliar e interpretar os dados em relação à hipótese

Etapla 3a: Decidir sobre novos dados necessários

A própria construção do conhecimento sobre o tema se faz de maneira complexa, por envolver diferentes áreas do conhecimento e conter abordagens transdisciplinares.

Para os conteúdos dos cap. 6 e 7 (2ª Parte), que envolvem estudos de contribuições acadêmicas, a seleção dos artigos, da tese e dissertação seguiram as orientações apresentadas no início dos respectivos capítulos.

Para o desenvolvimento dos demais capítulos da 2ª, 3ª e 4ª Partes do trabalho, novas bibliografias tornaram-se necessárias, e sua pesquisa despertou a necessidade de incorporar novas outras. Sabe-se que tantas outras deixam de ser utilizadas, pois, para exequibilidade do trabalho torna-se necessário, em vários momentos, uma limitação das fontes bibliográficas sobre o assunto que está sendo abordado. Mesmo assim, pode-se perceber, pela lista de referências bibliográficas, uma abrangência significativa (para mais considerações sobre essa questão, ver, no presente trabalho, item 4.2: Limitações da pesquisa).

Os novos dados a serem integrados dependem do próprio desenvolvimento do estudo, fazendo com que o processo de definição desses novos dados aconteça de forma dinâmica e recorrente. Para o conhecimento da bibliografia efetivamente utilizada em cada capítulo deverão ser observadas as citações e referências ao longo do texto, pois identificarão as fontes dos novos dados que passam a ser incorporados.

Quanto ao estudo de caso, a ser descrito no cap. 13 (4ª Parte), houve a oportunidade, dentro de trabalhos de consultoria executados pelo autor desse estudo, de se desenvolver e aplicar em campo um modelo de gestão adotado para tratamento de anomalias com base na perspectiva da complexidade, o que caracteriza o estudo como sendo de observação participante (Yin, 2001, p. 116). Referido estudo foi realizado na empresa Agrocere, Divisão de Suprimento Animal, Rio Claro, SP, iniciado em 2000, e em pleno uso atualmente, com uma revisão crítica realizada em janeiro de 2008. As aplicações teóricas da complexidade (cap. 14) foram estabelecidas junto ao orientador do presente trabalho.

Etapa 3b: Recolher, analisar, avaliar e interpretar os dados em relação às proposições

Considerando que as Partes do estudo estão relacionadas às proposições, ao final de cada uma dessas Partes pode-se realizar uma análise interpretativa parcial em relação a determinada proposição.

Devido à natureza qualitativa do estudo, a estratégia de recolhimento e análise de dados emerge da natureza e conteúdo de cada capítulo, podendo-se utilizar um ou a combinação dos seguintes métodos (baseado em Laville e Dionne, 1999, p. 227, Santos e Parra Filho, 1998, p. 92 e 93 e Yin 2001, p.116): histórico; comparativo; emparelhamento; construção interativa de uma explicação; e estudo de caso com observação participante. Acrescenta-se, ainda, o método de análise de conteúdo codificada, com enfoque qualitativo em aspectos temáticos, e a construção de mapa conceitual com base na aprendizagem significativa. Os métodos serão detalhados à frente.

A tabela 8 a seguir apresenta as estratégias metodológicas adotadas nos capítulos para verificação e avaliação final das proposições.

Tabela 8: Estratégias Metodológicas para verificação das proposições

Capítulos	Método						
	Histórico	Comparativo	Emparelhamento	Construção interativa de explicação	Estudo de caso	Análise de conteúdo codificada	Mapa conceitual
Cap. 5							
Cap. 6							
Cap. 7							
Cap. 8							
Cap. 9							
Cap. 10							
Cap. 11							
Cap. 12							
Cap. 13							
Cap. 14							
Cap.15							

Serão apresentadas as orientações gerais utilizadas para aplicação de cada método.

Método Histórico

Por meio do estudo da evolução de acontecimentos, processos, instituições, idéias e outros marcos históricos de referência, procura-se estabelecer uma explanação sobre as origens da situação atual (adaptado de Santos e Parra Filho, 1998, p. 92).

Método Comparativo

Visa estabelecer comparações entre fenômenos sociais, grupos e diferentes contribuições, com o intuito de identificar semelhanças e diferenças (adaptado de Santos e Parra Filho, 1998, p. 93), podendo incluir no presente trabalho a comparação entre conceitos selecionados e práticas existentes.

Método de emparelhamento

“[...] consiste em emparelhar ou, mais precisamente, em associar os dados recolhidos a um modelo teórico com a finalidade de compará-los. Esta estratégia supõe a presença de uma teoria sobre a qual o pesquisador apoia-se [...]” (Laville e Dionne, 1999, p. 227). No caso deste estudo, envolve a comparação entre as análises e as proposições.

Construção interativa de explicação

“O processo de análise e interpretação é aqui fundamentalmente interativo, pois o pesquisador elabora pouco a pouco uma explicação lógica do fenômeno ou situação estudados, examinando as unidades de sentido, as inter-relações entre essas unidades e entre as categorias em que elas se encontram reunidas” (Laville e Dionne, 1999, p. 227).

Não obstante este seja um processo que poderia ser considerado presente ao longo de quase todo o estudo, considera-se importante caracterizar o uso desse método no presente trabalho quando existe uma explicação com base em uma organização geral de conceitos, utilizando-se ou alguma sugestão específica ou algum tipo de modelo conceitual para representar suas inter-relações – exceto quando se utiliza mapa conceitual, o qual, apesar de atender esses preceitos, deve ser considerado como uma técnica à parte, em função de suas peculiaridades.

Estudo de caso

“Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real [...]” (Yin 2001, p. 32). No presente estudo, há o uso de um caso único em função de se tratar de uma oportunidade rara para o seu desenvolvimento. Envolveu coleta de evidências na forma de: observação participante e direta, entrevistas, análise de documentos e registros, estabelecendo-se assim a convergência de várias fontes de evidência (com

base em Yin, 2001, p. 61 a 63 e p. 107 a 122). Seu uso está apresentado no cap. 13 (4ª Parte), relacionado à aplicação prática da complexidade.

Análise de conteúdo codificada

Segundo Bardin (1994, p. 31) “a análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de técnicas para análise das comunicações”.

A metodologia aplicada à pesquisa baseou-se nas técnicas de *análise de conteúdo*, apresentadas por Bardin (1994) e Laville e Dionne (1999). Utilizaram-se recortes do texto com base em codificação. Como pode ser observado na tabela de estratégias metodológicas, a técnica foi adotada para análise das contribuições acadêmicas dos cap. 6 e 7 (2ª Parte), sendo complementada com o uso posterior do método comparativo, explicado anteriormente, e mapa conceitual.

Foram estabelecidas as seguintes delimitações para aplicação do método:

- Foco na abordagem qualitativa buscando valorizar as singularidades e inter-relações dos conteúdos;
- Voltado para os aspectos “temáticos” e não os “léxicos”, ou seja, análise dos significados e não dos significantes.

“Quais elementos do texto ter em conta? Como recortar o texto em elementos completos? A escolha das *unidades de registro* e de *contexto* deve responder de maneira pertinente (pertinência em relação às características do material e face aos objetivos da análise)” (Bardin, 1994, p. 104).

Unidade de Registro: É a unidade de significação adotada como base para selecionar e/ou caracterizar segmentos do conteúdo, permitindo posterior tratamento classificatório. No caso deste estudo foi utilizada abordagem temática (e não léxica) como unidade de registro.

“Freqüentemente mais rico ainda, mas também mais delicado, será o recorte do conteúdo em temas, isto é, em fragmentos que correspondem cada um a uma idéia particular [...] A dificuldade nasce do fato de que esses temas exprimem-se, às vezes, de maneira mais ou menos manifesta, nem sempre são delimitados com clareza e encontram-se freqüentemente misturados a outros temas [...] Em compensação, a pesquisa dos temas pode melhor aproximar o pesquisador do sentido do conteúdo, pois ele se vê obrigado, mais do que com os fragmentos que dependem da estrutura lexical ou gramatical, a construir suas unidades de análise a partir de sua compreensão desse conteúdo. Alguns censurarão o caráter subjetivo das inferências necessárias, ao que se pode retorquir que toda análise compreende uma parte de interpretação em que o pesquisador explicita o que ele entende dos resultados obtidos” (Laville e Dionne, 1999, p. 217).

Adotaram-se como unidades básicas de registro os seguintes temas, que poderão ser também denominados de *tópicos*:

1. Definição da complexidade
2. Referência a uma "teoria da complexidade"
3. Evolução da complexidade
4. Abordagem teórica da complexidade
5. Principais termos relacionados à complexidade
6. Proposta de aplicação da complexidade à gestão
7. Perspectiva futura da complexidade

Unidade de contexto: “A unidade de contexto serve de unidade de compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem, cujas dimensões (superiores às da unidade de registro) são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro” (Bardin, 1994, p. 107).

Devido ao objetivo do estudo a unidade de contexto possui grande relevância. Ela se constituiu de recortes do material analisado pertinentes ao tema, seja pela transcrição

exata dos mesmos, seja através de uma síntese – quando esta se apresentou mais conveniente, principalmente em recortes extensos ou tratando-se de informações repetitivas.

Mapa conceitual

“Mapeamento conceitual é uma técnica de análise que pode ser usada para ilustrar a estrutura conceitual de uma fonte de conhecimentos. Essa ilustração é chamada de mapa conceitual. Sua forma e representação dependem dos conceitos e das relações incluídas, de como os conceitos são representados, relacionados, diferenciados e do critério usado para organizá-los. Portanto, mapas conceituais são diagramas hierárquicos indicando os conceitos e as relações entre esses conceitos. Esses diagramas procuram refletir a organização conceitual de uma disciplina ou parte de uma disciplina, de um livro, de um artigo, de um experimento de laboratório, da estrutura cognitiva de um indivíduo sobre um dado assunto, de uma obra ou de uma outra fonte ou área de conhecimento qualquer. Ou seja, sua existência é derivada da estrutura conceitual de uma fonte de conhecimentos” (Moreira e Buchweitz, 1987, p. 9 e 10).

Portanto, mapas conceituais são diagramas hierárquicos bidimensionais que procuram refletir a estrutura conceitual da matéria que está sendo estudada.

A fundamentação teórica dos mapas conceituais está na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, proposta desde a década de 60, a partir de uma posição organicista dentro da psicologia cognitiva, até então predominantemente voltada para estímulos e respostas. Mas a autoria destes mapas como instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa é atribuída a Joseph D. Novak: “Alguns anos depois Joseph Novak passou a colaborar com Ausubel e, progressivamente, assumiu a tarefa de refinar e divulgar a teoria. Novak, além de desenvolver a técnica do mapeamento conceitual – uma estratégia facilitadora da aprendizagem significativa –, ultrapassou a visão predominantemente cognitivista que Ausubel

dava a este conceito e imprimiu-lhe também uma conotação humanista” (Moreira, 1999, p. 9 e 10).

Então, é importante que sejam consideradas algumas das idéias principais da teoria de David Ausubel para melhor entendimento dos mapas conceituais.

“Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual a nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não ‘literal’) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura do indivíduo. Isto é, nesse processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de ‘conceito subsunçor’ ou simplesmente ‘subsunçor’, existente na estrutura de quem aprende. O subsunçor é, portanto, um conceito, uma idéia, uma proposição, já existente na estrutura cognitiva capaz de servir de ‘ancoradouro’ a uma nova informação de modo que esta adquira, assim, significado para o sujeito (*i.e.*, que ele tenha condições de atribuir significados a essa informação) [...] Entretanto, a experiência cognitiva não se restringe à influência direta dos conceitos já aprendidos significativamente sobre componentes da nova aprendizagem, mas abrange também modificações significativas em atributos relevantes da estrutura cognitiva pela influência do novo material. Há, pois, um processo de interação no qual conceitos mais relevantes e inclusivos interagem com o novo material, servindo de ancoradouro, incorporando-o e assimilando-o; porém, ao mesmo tempo, modificando-se em função desta ancoragem” (Moreira, 1999, p.11 e 12).

A seguir é apresentado um quadro ilustrativo (figura 12) do princípio de assimilação, baseado no que foi exposto acima, apresentado pelo autor (*ibidem* p. 24):

Figura 12: Princípio de assimilação de Ausubel (Moreira 1999, p. 24)

Este processo de assimilação leva a três formas de aprendizagens diferenciadas, no conceito de Ausubel (*apud* Pozo, 1998), ilustradas na fig. 13:

1. Aprendizagem subordinada
 - a. Inclusão derivativa
 - b. Inclusão correlativa
2. Aprendizagem supra-ordinada (ou superordenada)
3. Aprendizagem combinatória

Figura 13 – Formas de aprendizagem propostas por Ausubel (apud Pozo, 1998, p. 218, tab. 7.4)

Assim, percebe-se que Ausubel entende que o desenvolvimento do conhecimento ocorre pelo armazenamento organizado e inter-relacionado das informações na mente, através da formação de uma rede de conceitos hierarquizada.

Acredita-se ser mais fácil o entendimento dos conceitos e da metodologia associados aos mapas conceituais apresentando um mapa conceitual dos conceitos chaves da sua própria metodologia – figura 14 –, conforme apresentado por Novak e Gowin (1996).

Figura 14: Mapa conceitual da metodologia para elaborar o próprio mapa (Novak e Gowin, 1996, p. 30 fig. 3.3)

“Os mapas conceituais têm por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceituais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica” (Novak e Gowin, 1996, p.31).

Mas é bom observar que mapas conceituais não são esquemas ou redes semânticas, apesar da sua aparente semelhança, pois estas últimas não se baseiam na teoria de aprendizagem significativa, a qual, entre outros aspectos, ressalta a importância da interatividade dinâmica de conceitos.

E, ainda, conforme Novak e Gowin (1996, p.31 e 32) :

“Uma vez que a aprendizagem significativa se produz mais facilmente quando novos conceitos ou significados conceituais são englobados sob outros conceitos mais amplos, mais inclusivos, os mapas conceituais devem ser hierárquicos; isto é, os conceitos mais gerais e mais inclusivos devem situar-se no topo do mapa, com os conceitos cada vez mais específicos, menos inclusivos, colocados sucessivamente debaixo deles [...] As relações subordinadas/superordenadas de conceitos podem variar para diferentes partes da aprendizagem. Como tal, usamos por vezes a analogia da membrana de borracha para explicar que, num mapa conceitual, praticamente qualquer conceito do mapa pode ser levado para a posição superior, mantendo-se, no entanto, uma relação preposicional significativa com os outros conceitos do mapa”.

“O ponto importante é que um mapa conceitual deve ser visto como *‘um mapa conceitual’* e não *‘o mapa conceitual’* de um conjunto de conceitos. Ou seja, qualquer mapa conceitual deve ser visto como apenas uma das possíveis representações de uma certa estrutura conceitual [... pois] nem sempre é fácil ordenar os conceitos ou estabelecer as relações entre eles e, em certos casos, essas decisões são difíceis de se tomar e até podem ser feitas de uma forma um pouco arbitrária. Portanto o mapa final deve ser considerado uma representação apropriada da estrutura conceitual e não um produto final” (Moreira e Buchweitz, 1987, p.14 e 31).

Vários elementos chaves para construção dos mapas conceituais se encontram na figura 14, e devem ser observados com atenção, tais como: conceito, relações, palavras de ligação, preposições, exemplos e hierarquia. E apesar de não estar mencionado nesse mapa o conceito de “ligações transversais” (ou laterais), elas estão ali representadas e possuem um papel importante na estruturação conceitual.

Segundo o próprio criador dos mapas conceituais, Novak (Novak e Gowin, 1996, p. 40): “... não há nenhum modo ótimo de introduzir os mapas conceituais”, mas

segundo Buchweitz (apud Moreira e Buchweitz, 1987) “normalmente, são obedecidos os seguintes passos na elaboração de um mapa conceitual:

1. Localizam-se os conceitos
2. Listam-se os conceitos em uma ordem hierárquica
3. Distribuem-se os conceitos em duas dimensões
4. Traçam-se as linhas que indicam as relações entre os conceitos
5. Escreve-se a natureza da relação (palavras de ligação)
6. Revisa-se e refaz-se o mapa
7. Prepara-se o mapa final

Mas, como citado, nem sempre é fácil ordenar hierarquicamente os conceitos ou estabelecer as relações entre eles e, em certos casos, essas decisões são difíceis de tomar, pois a questão da hierarquia dos conceitos pode não ser tão relevante quanto a imbricada rede de inter-relações estabelecida entre os mesmos.

Para justificar como adequada esta técnica para este estudo, podemos considerar Novak e Gowin (1996, p.33):

“É indubitável que, no processo de elaboração dos mapas, podemos desenvolver novas relações conceituais, especialmente se procurarmos ativamente construir relações preposicionais entre conceitos que até então não considerávamos relacionados: os estudantes e os professores fazem notar freqüentemente, durante a elaboração de mapas conceituais, que reconhecem novas relações e portanto novos significados (ou pelo menos significados que eles não possuíam conscientemente antes de elaborarem o mapa)”.

Fase 4 – Conclusão Final

“A conclusão volta ao início da pesquisa. Ela começa, portanto, lembrando sumariamente o problema inicial, as intenções da pesquisa e o trabalho realizado” (Laville e Dionne, 1999, p. 245).

Com base nas três etapas sugeridas pelos autores citados anteriormente (*ibidem*, p. 47 e 228), apresenta-se as seguintes etapas:

Etapa 4a: Invalidar, confirmar ou modificar o problema e as proposições;

Etapa 4b: Traçar um esquema de explicação significativo;

Etapa 4c: Quando possível, generalizar a conclusão.

Etapa 4a: Invalidar, confirmar ou modificar o problema e as proposições:

Procura-se responder a pergunta da pesquisa e realiza-se uma reflexão sobre as proposições sob a luz dos conhecimentos desenvolvidos ao longo do trabalho.

Etapa 4b: Traçar um esquema de explicação significativo;;

No caso do presente estudo, trata-se da retomada dos principais elementos considerados como válidos da 3ª e 4ª Partes do trabalho.

Etapa 4c: Quando possível, generalizar a conclusão.

Aqui se estabelece o alcance da pesquisa e os limites de suas conclusões, sugerindo novos horizontes para novas pesquisas.

4.2 Limitações da Pesquisa

O tema envolve a necessidade de uma pesquisa multidisciplinar em áreas de conhecimento que classificamos hoje como sendo bem distintas. Abrange, entre outras: física, biologia, matemática, computação, filosofia e gestão, e ainda, deve considerar suas especializações e relações interdisciplinares, tais como físico-químico, biologia-social, filosofia da ciência, gestão geral, gestão da estratégia, gestão da mudança, gestão da produção, etc. Assim, mesmo considerando o uso de uma extensa bibliografia, para o estudo ser exeqüível dentro de um prazo razoável, diversas contribuições não puderam ser incluídas.

Sabe-se que a natureza qualitativa da pesquisa envolve interpretação, onde sujeito e objeto de observação estão diretamente relacionados, o que dificulta a reprodutibilidade exata, mas possibilita caminhar para novas perspectivas conceituais. Para garantir objetividade na condução da pesquisa, a mesma desenvolveu-se conforme o método apresentado ao longo do capítulo 4 do trabalho.

Considera-se a questão da complexidade como um tema ainda em desenvolvimento, com limites indefinidos e circunscrito por discussões típicas de uma época envolvida em uma proposta de transição de pensamento. Isso implica em lidar com as possibilidades da incerteza. Assim, conforme Moles (1995, p. 34 a 39), não estamos no campo da ‘ciência acabada’, mas da ‘ciência em vias de se fazer’, que é bem mais um campo de possibilidades.

Com relação às traduções de obras e trechos, podem ser consideradas como possível fonte de distorções, cujo efeito pode ser minimizado pelo conhecimento prévio do assunto.

2ª PARTE – COMPLEXIDADE E GESTÃO NA ACADEMIA

5. EVOLUÇÃO DA GESTÃO DE SISTEMAS ORGANIZACIONAIS PRODUTIVOS E NECESSIDADES DE ABORDAGENS MAIS COMPLEXAS

O objetivo deste capítulo é estabelecer uma visão da evolução das propostas de gestão dos sistemas organizacionais produtivos e sua relação com o aumento da complexidade desses sistemas e seu ambiente. Essa análise possibilita a identificação da necessidade das propostas atuais buscarem abordagens alternativas, tais como as perspectivas da complexidade. O enfoque está voltado para os modelos e práticas adotados no Ocidente.

O primeiro ponto de referência para tratarmos dessa evolução da gestão é a Primeira Revolução Industrial, que “começou na Inglaterra no século XVIII e expandiu-se de forma distinta nos países da Europa Continental e em algumas áreas ultramar [em especial para os EUA]. Em um espaço de menos de duas gerações, transformou a vida do homem ocidental [...]” (Landes, 2005, p. 1).

A Revolução Industrial pode ser definida, segundo Landes (*ibidem*), como o “complexo de inovações tecnológicas que, substituindo a habilidade humana pelas máquinas e a força humana pela energia inanimada e animal, converteu o trabalho artesanal em fabricação em série e, ao fazê-lo, originou a economia moderna”.

“Com o nascimento da Revolução Industrial, a afirmação da razão e do progresso e as grandes revoluções políticas, americana e francesa, sabemos que entramos em uma sociedade em movimento, ritmada pelo crescimento econômico e as aspirações democráticas. Esse processo sócio-histórico, que surgiu no Ocidente, invadiu o mundo inteiro [...]” (Chanlat, 1999, p. 15).

“A doutrina do progresso acabou se incorporando à filosofia do séc. XVIII e foi se convertendo em um credo que os constantes avanços tecnocientíficos

ratificavam ao criar produtos e serviços que se transformaram em objeto de desejo e símbolos do progresso” (Barzun *apud* Dupas, 2006, p. 13).

A idéia do progresso visto pela perspectiva racionalista, que entre outras coisas busca a capacidade de produzir mais e melhor, passa a ser associada ao crescimento econômico e, de certa forma, torna-se a ideologia de fundo de aspectos expansionistas e desenvolvimentistas que tiveram a transformação dos sistemas industriais produtivos como base de sustentação.

Conforme Nisbet (*apud* Dupas, 2006 p. 43): “da segunda metade do séc. XVIII ao final do séc. XIX a idéia de progresso foi dominante no Ocidente”. E, com base em Dupas (*ibidem*, p. 255 e 278), podemos afirmar que existe ainda hoje um discurso dominante de progresso, organizado em torno do desenvolvimento da ciência e da técnica, com o intuito de torná-lo um instrumento legítimo de acumulação, justificando assim a expansão do capitalismo.

Essa idéia de progresso contribui para o desenvolvimento da hegemonia da economia capitalista, fundada na propriedade privada, na acumulação do lucro e no mercado como modo de regulação de trocas, o que atribui à empresa um papel central no sistema econômico e transforma o gestor em uma das figuras dominantes da sociedade (baseado em Chanlat, 1999, p. 15 e 16).

Conseqüentemente, a preocupação com a gestão e sua sistematização invade a sociedade ocidental, principalmente a partir do final do séc. XIX. “O *management*, como realidade codificada e como realidade social, só vai surgir na segunda metade do séc. XIX e, mais particularmente, no último quarto deste século” (Chanlat, 1999, p. 32).

A natureza da gestão (que será considerada como equivalente à administração ou *management*) está relacionada à necessidade de organização dos sistemas produtivos, que envolvem diversos agentes em interação, com a finalidade de alcançar bons desempenhos no ambiente socioeconômico em que estão inseridos.

Aktouf (1996, p. 25) define administração [gestão] como:

“Uma série de atividades integradas e independentes, destinadas a permitir que certas combinações de meios (financeiros, humanos, materiais etc.) possam gerar produção de bens ou serviços economicamente e socialmente úteis e, se possível para a empresa com finalidade lucrativa, rentáveis”.

O acelerado desenvolvimento industrial, após a Revolução Industrial, coloca os problemas de produção no centro das preocupações da gestão. E, como se sabe, até o final do séc. XIX:

“Na área da administração de empresas em geral e da administração da produção em particular, não se havia ainda construído um referencial teórico metodológico adequado ao novo tempo; o conhecimento era pouco sistemático, desprovido de método, e a prática era intuitiva, experimental e desprovida do que Hughes resume como ‘ordem, sistema e controle’” (Zilbovicius, 1999, p. 98).

Assim, tendo surgido como corpo de conhecimento a partir do final do séc. XIX, a Engenharia de Produção torna-se a possível fonte para o desenvolvimento da gestão como uma disciplina, para tratar o eminente desafio da produção industrial (baseado em Zilbovicius, 1999, p. 96 e 98).

A gestão como um corpo sistematizado de conhecimento passa a ter sua história, mas com relação à sua evolução considera-se a visão de Aktouf (*ibidem*, p. 26 e 27): “as obras dos historiadores, que tratam mais diretamente deste assunto, levam-nos, entretanto, a ser extremamente prudentes quanto ao conteúdo e aos modos de exercício da função administrativa através dos tempos”.

Muitos autores (como Aktouf, 2006, p. 29 e Mészáros, 2004, p. 246) sugerem que a sistematização inicial dos conhecimentos de gestão desenvolveu-se de acordo com as

crenças fundamentais de sua época, ligadas de maneira legítima, ou não, às convicções e aos conhecimentos de caráter científico mais difundidos no período.

O apelo à ciência como forma de legitimar o conhecimento tornou-se comum após o sucesso da ciência clássica, com seu método científico e sua visão mecanicista, que considera a ordem, equilíbrio e previsibilidade como condições ideais (ver capítulo 9). Dessa forma, o surgimento da primeira escola de pensamento sobre gestão com a denominação de ‘administração científica’ era praticamente esperada – escola essa calcada em conhecimentos da área de Engenharia de Produção.

“A gestão de empresas já não quer ser simplesmente uma arte técnica, ela aspira transformar-se em uma ciência” (Chanlat, 1999, p. 32). É através da proposição da aplicação do método científico na organização do trabalho fabril, desenvolvido dentro do âmbito da Engenharia de Produção, que a administração ganha um referencial teórico com a intenção de ser legitimada como ciência.

Assim, inicia-se um debate ainda sem fim, se administração é ciência ou técnica, e se ela produz modelos ou teorias – no sentido científico. E, também, sabe-se que, de acordo com diferentes enfoques funcionais que se queira dar, a perspectiva de evolução pode ser apresentada de diferentes maneiras.

Em função do objetivo do presente trabalho, serão estabelecidas as seguintes diretrizes para a construção de uma evolução das práticas de gestão:

- Será admitido o tratamento “ciência da administração”, como ciência aplicada;
- Serão consideradas como contribuições teóricas da administração tanto as denominadas teorias¹² administrativas [ou escolas de pensamento] como os modelos¹³ de gestão;

¹² Para o presente trabalho, uma teoria será entendida como um conjunto de proposições que explica algo, normalmente tomando por base alguma experiência, possibilitando resolver problemas e estabelecer previsões. Certos autores estabelecem que para ser considerada como ‘teoria’, esta deve ter necessariamente a possibilidade de generalização, ou seja, repetição dos resultados, e estar embasada em experimentação prática, caso contrário seria uma abstração pura, que ratificaria o conflito entre teoria e prática (baseado na argumentação explícita de Pereira, 1992, p. 12, e no

- Será considerado que, apesar de seu nascimento ter sido com foco nos conhecimentos da Engenharia de Produção, desenvolveu-se diferentes propostas abrangendo tanto outras áreas funcionais quanto a empresa como um todo, tanto que ao longo do tempo foram organizadas ‘escolas de pensamento administrativo’, muitas vezes denominadas de teorias gerais da administração;
- Por considerar a empresa como um sistema organizacional produtivo, será estabelecido em paralelo com a evolução das escolas de administração geral o enfoque na evolução da gestão produtiva;
- Sabe-se que não há uma uniformidade quanto aos processos evolutivos na área de gestão; portanto, qualquer modelo conceitual de evolução proposto como referencial deve ser considerado como *uma* proposta explicativa e não *a* proposta.

É importante observar que no campo da gestão as teorias/modelos e as práticas/técnicas nem sempre estão alinhados, conforme constatou Zilbovicius

argumento implícito de Zilbovicius, 1999, p. 28 e 29). Diante desse conflito, percebe-se que classificar como teoria “trata-se, portanto, muito mais da postura que assumimos diante do que nos cerca” (Pereira, 1992, p. 13). Isso resulta do conflito entre o pensamento clássico (grego e medieval) e o pensamento científico (com base na ciência moderna), pois, para o clássico “teorizar significa quase somente abstrair” (*ibidem*, p. 18), enquanto para o científico teoria é “tão somente resultante da experimentação” (*ibidem*, p. 41), suportada por uma explicação matemática, de tal forma que permita repetibilidade dos resultados, adotando-se assim, uma perspectiva puramente positivista. Sendo a administração um campo interdisciplinar dentro das denominadas ciências humanas, onde existe certa imprevisibilidade dos resultados práticos, seu ‘objeto’ de investigação é ao mesmo tempo o ‘sujeito’ que investiga o objeto, o que exige interpretação, e em muitos casos a matematização não faz sentido; ocorre que na visão positivista sequer existiriam as ‘ciências humanas’. E, com base em tal rigor, poder-se-ia falar apenas em ‘modelos de pensamento ou escolas’ (baseado em *ibidem*, p. 62). Mas, entende-se que, para atender a finalidade deste trabalho, a questão pode ser resolvida quando é estabelecida a denominação de ‘teoria administrativa’ ou ‘teoria da administração’, cujo rigor não se limita à abordagem positivista, e permite levar em conta, na proposição da teoria, a experiência vivida do seu proponente, reconhecendo-se suas limitações quanto à generalização, mas reconhecendo uma aderência de contribuições que podem complementar ou reforçar essa teoria administrativa. Deve-se entender isso não como um artifício para fugir da discussão sobre a validade ou não da teoria em administração, mas como um facilitador que busca permitir a pesquisa nas fontes de administração que usam a terminologia de “teorias de administração”, e ainda, estabelecer um papel delimitado para a palavra modelo como recurso operacional. Com isso, por exemplo, se aceita a proposta de uma ‘teoria geral de sistemas’.

¹³ Para o presente trabalho “um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade” (Pidd, 1998, p. 25). Ou seja, é uma representação simplificada de como a realidade deve funcionar, considerando a presença e inter-relações dos elementos constituintes do modelo. “Os modelos são simplificações, abstrações das características tidas como importantes, e não podem existir garantias de que serão [sempre] válidos” (*ibidem*, p. 36). Os modelos de gestão comportam um conjunto coerente de princípios e práticas recomendadas que podem ser legitimados, muitas vezes sem garantia de resultados práticos, apenas por estarem alinhados com o pensamento e discurso científico dominante (adaptado de Zilbovicius 1999, p. 27).

(1999, p. 22) na elaboração de suas pesquisas: “o descompasso entre o discurso e a prática se tornava cada vez mais evidente”. Esses aspectos são considerados relacionados com seu ambiente socioeconômico e a difusão de conhecimentos científicos¹⁴, em uma relação co-evolutiva. Essa relação está apresentada na figura 15, adaptada de Zilbovicius (1999, p. 28, fig. 1).

Figura 15: Relação entre modelo/teoria, práticas/técnicas, ambiente e conhecimento científico (adaptado de Zilbovicius, 1999, p. 28, fig. 1)

Com base nas considerações anteriores, e em uma possível inércia existente nas transformações sociais envolvendo grande quantidade de participantes, as relações da figura 15 podem estar tanto defasadas (*delay*), no geral ou relativamente a situações específicas. Assim, no campo organizacional, pode haver: práticas/técnicas desenvolvidas e aplicadas sem uma teoria ou modelo geral; teorias/modelos propostos conhecidos por poucos ou apenas conhecidos superficialmente pela

¹⁴ A questão da influência do pensamento científico na visão de mundo dominante será explorada no capítulo 9.

maioria; teorias/modelos que podem estar disputando sua prevalência, e ainda, a aplicação prática do modelo/teoria pode ocorrer de forma diferente em diferentes empresas – baseado em Zilbovicius (1999, p. 281 e 282).

Com o enfoque capitalista, as organizações proliferaram, o ambiente se tornou cada vez mais competitivo e surgiu uma dinâmica organizacional cada vez mais complexa para alcançar a tão almejada lucratividade. Assim, sente-se cada vez mais a necessidade de novas teorias e modelos de gestão para conduzir o desenvolvimento organizacional, tal que a organização possa alcançar uma condição favorável para obter e sustentar lucratividade neste cenário competitivo.

Serão apresentadas as principais escolas ou teorias de gestão ao longo da história, a partir do momento em que elas se tornam escolas de pensamento com um corpo de conhecimento sistematizado, ou seja, a partir da ‘administração científica’, praticamente no início do século XX.

É importante lembrar que a história não se desenvolve de forma linear, pois ocorre através de uma superposição de fatos inter-relacionados, e ainda, que ocorre de forma não necessariamente coordenada, pois muitas vezes os eventos se encontram distantes no tempo e espaço e nem sempre estão diretamente relacionados. Deve-se considerar também que cada historiador estabelece marcos de referência e critérios de categorização de acordo com seu referencial conceitual, valores e influências de sua época; sendo assim, não se pode esperar uniformidade nos modelos que tratam de evolução ao longo dos tempos.

Será utilizado o método comparativo de livros tipicamente acadêmicos, a fim de propor um modelo conceitual para representar a evolução da gestão, considerando tanto a perspectiva da Administração Geral quanto a da Administração da Produção. Considere-se inicialmente, a tabela 9, onde estão comparadas diferentes propostas de autores que se propõe tratar a evolução da Administração Geral.

Tabela 9: Comparativo de propostas de evolução da Administração Geral

	Bateman e Snell, 1998	Robbins, 2000	Chiavenato, 2003	Daft, 2005
1900 – 1910	1 Administração Científica 2 Burocracia (Weber)		1 Administração Científica 2 Teoria da Burocracia	1 Administração Científica 2 Teoria da Burocracia
1910 – 1920	3 Gestão Administrativa (Fayol)	1 Abordagem Clássica -Administração Científica -Administração Geral - Fayol (princípios) - Weber (Burocracia)	3 Teoria Clássica	3 Princípios Administrativos
1920/30	-----	-----	-----	
1930 – 1940	4 Relações Humanas	2 Abordagem Humanística - Estudos de Hawthorne - Movimento das Relações Humanas	4 Teoria das Relações Humanas	4 Movimento das Relações Humanas
1940 – 1950	5 Administração Quantitativa	3 Abordagem Humanística - Ciência comportamental	5 Teoria Estruturalista	5 Perspectiva dos recursos humanos [conteúdo similar à teoria / ciência comportamental – período estimado] 6 Pesquisa Operacional [abordagem Quantitativa]
1950 – 1960	6 Comportamento Organizacional	4 Abordagem Quantitativa	6 Teoria de sistemas (inclui cibernética e quantitativa) 7 Abordagem Sociotécnica 8 Teoria Neoclássica 9 Teoria Comportam.	7 Teoria dos Sistemas
1960/70	7 Teoria de Sistemas		10 Desenv. Organiz.	8 Abordagem Contingencial
1970 – 1980	8 Teoria da Contingência	5 Abordagem Sistêmica 4 Abordagem Contingencial	11 Teoria da Contingência	9 [Desenv. Organiz. como extensão da ciência comportamental]
1980 – 1990	9 Gestão da Qualidade Total	6 Abordagem cultural		10 Gestão da Qualidade Total
1990 – Atual	10 Organização Inteligente 11 Reengenharia		12- Novas Abordagens - influência da teoria do caos e da complexidade	11 Organização de aprendizagem 12 Local de trabalho orientado pela tecnologia [rede interna e externa]

Com base na tabela 9, pode-se observar que há unanimidade no fato de que até os anos 30 houve o surgimento das chamadas escolas clássicas: Administração Científica (associada a Taylor, sediado nos EUA), que enfocava a eficiência no chão de fábrica; Burocracia (associada a Weber, na Alemanha), voltada para regras e procedimentos formalizados das questões administrativas em geral; a Teoria Clássica e seus princípios administrativos (que recebe denominações variadas, e está associada a Fayol, na França), cujo foco estava na definição e exercício das funções administrativas dos gestores principais. É importante observar os seguintes aspectos dessas escolas de pensamento:

- O eixo econômico do ocidente estava se deslocando para os EUA, o que justificava por um processo recorrente, a prevalência dos aspectos Tayloristas na economia americana, mesmo em tempos posteriores. Apesar das críticas e resistências aos princípios da administração científica, estes, de forma pragmática, aumentaram significativamente a eficiência das operações industriais. Portanto, em função dos ganhos com o aumento de produtividade, as resistências foram superadas pelos interesses econômicos dominantes e a administração científica se espalhou rapidamente por toda a Europa e EUA (baseado em Kast e Rosenzweig, 1992, p. 67 a 69). A Ford, com seus sistemas de trabalho, passa a ser o símbolo de sucesso da administração científica. Essas questões, conseqüentemente, passam a influenciar o ideal de gestão nos demais países. Foi a época dos “tempos modernos” caracterizada no filme de Charles Chaplin, em 1936.
- Essas diferentes escolas ocorrem em diferentes países, em um período onde a informação não se difundia de forma ampla tão facilmente. Assim, é possível que determinadas propostas bem conhecidas em determinados países não fossem tão disseminadas em outros. Mas, hoje, há uma tendência em reconhecer que todas elas tinham um enfoque mecanicista influenciado pelo pensamento científico da física clássica. As datas estabelecidas como referência nesse período estão relacionadas com o seu surgimento inicial.
- Essas teorias/modelos são contribuições de engenheiros e sociólogos, umas com enfoque de baixo para cima e outras de cima para baixo, o que representa desde

o início uma abordagem que envolve múltiplos enfoques disciplinares e múltiplos níveis para lidar com sistemas organizacionais produtivos, típica situação que envolve sistemas complexos.

Com base na tabela 9, também há uma unanimidade quando ao surgimento, nos anos 30 do século XX, de um novo tipo de pensamento administrativo que surge como um tipo de antítese à administração científica, chamando atenção para as questões humanas no trabalho: o movimento das Relações Humanas, que considerou a importância das relações informais e introduziu a discussão de temas como comunicação e dinâmica de grupo, o papel da liderança na motivação. É importante observar que, a partir da escola de Relações Humanas, a referência tradicional didática no ocidente para evolução das escolas de pensamento é a repercussão das teorias/modelos de gestão nos EUA.

É observado que da escola das Relações Humanas decorre a escola Comportamental [ou da Ciência do Comportamento], citada por todos os autores da tabela, escola que, apesar de vários precursores, tem suas principais contribuições a partir dos anos 40 até início dos 60 (século XX). Foram desenvolvidas teorias sobre estilos de liderança, processos decisórios e alinhamento de objetivos individuais com organizacionais.

Quanto à escola de Desenvolvimento Organizacional (DO), alguns autores a consideram uma escola à parte enquanto outros entendem que ela está integrada à Comportamental, ou nem mesmo a consideram como um movimento distinto. Mas, a escola de DO, nos anos 60 e 70 do século passado, trouxe à tona a discussão de conceitos dinâmicos relacionados às organizações, tais como: o próprio conceito de mudança e seu papel nas organizações como possível gerador de desenvolvimento (base das atuais idéias sobre *organizações de aprendizagem*); cultura e clima organizacional; diferentes fases ao longo da vida da organização; e a idéia de considerar as organizações como sistemas orgânicos. Existe uma proposta da abordagem cultural como uma escola à parte, o que não parece muito justificável.

As três escolas (Relações Humanas, Comportamental e DO) estão todas ligadas por uma abordagem humanística, associando-se o desenvolvimento organizacional ao desenvolvimento humano.

Apesar de existir na tabela 9 uma única proposta da escola denominada Estruturalismo, considera-se que essa merece um destaque. Embora decorrente da influência dos pensamentos de Weber, da escola da Burocracia, ela se compõe de novas propostas de autores americanos em um contexto que procurava integrar a administração científica com as relações humanas, inclui a abordagem do pensamento sócio-técnico¹⁵ que está envolta na abordagem de teórica de pensamento de sistemas abertos, cujo conteúdo vai se desenvolver sob influência da Teoria Geral de Sistemas e seus desdobramentos (baseado em Eijnatten, 1993, p.12 e Chiavenato, 2003, p. 288 a 297). A abordagem estruturalista considerou a organização por diferentes visões, reconhecendo a complexidade inerente à mesma, estabeleceu uma perspectiva tanto intra-organizacional (levando em conta a importância de conflitos, o relacionamento entre organização formal e informal, os níveis organizacionais e as tipologias organizacionais) como inter-organizacional, sendo que através desta última a sociedade era vista como uma sociedade de organizações, as quais possuem interdependências e pontos de ligação, e as relações entre elas estavam imersas em um conjunto de regras e valores de uma sociedade maior, que, ao se alterarem, geram a necessidade de mudanças organizacionais. A preocupação com o ambiente e as relações inter-organizacionais se iniciam nesse ponto.

A segunda guerra mundial passa a exigir um esforço multidisciplinar para soluções de determinados problemas. Surge a contribuição da cibernética em conjunto com a modelagem matemática para apresentação das soluções dos problemas, que passam a influenciar a proposta e aplicação da teoria de sistemas. Essa Abordagem Quantitativa se traduziu na administração com a denominação de Pesquisa Operacional, havendo grandes contribuições na busca de soluções otimizadas na gestão da produção, com uso de sistematização computacional, já que os sistemas organizacionais produtivos voltam a crescer significativamente no solo americano no

¹⁵ Chiavenato (2003, p. 13) apresenta o surgimento da teoria sócio-técnica como à parte no seu esquema evolutivo; entretanto, não explora essa questão à parte.

período pós-guerra. Nessa mesma tabela 9 percebe-se que há nova unanimidade quanto à existência dessa corrente de pensamento administrativo, envolvendo seu nascimento no período de guerra e permeando-se para as empresas no período posterior – de forma imbricada coma Teoria Geral de Sistemas.

A escola Neoclássica, apesar de ser também sugerida por apenas um autor a partir da década de 50, merece destaque. Surgem no ambiente pós-guerra nos EUA grandes oportunidades de crescimento produtivo, no qual abordagens pragmáticas e com aplicação direta na administração se tornaram bem aceitas. A abordagem neoclássica tem sua base claramente definida na teoria clássica, devidamente atualizada, criticada e redimensionada aos problemas administrativos atualizados e ao tamanho das organizações da época. A teoria neoclássica caracteriza-se por uma forte ênfase nos aspectos práticos da administração, ou seja, pelo pragmatismo e pela busca de resultados concretos e palpáveis (baseado em Chiavenato, 2003, p. 148). Herbert Simon foi um autor de grande influência com sua contribuição no enfoque no processo racional de decisões, tal que suas idéias influenciaram o desenvolvimento da inteligência artificial e a primeira fase da Teoria Geral de Sistemas, tanto que certos autores chegam a considerar essa contribuição como uma escola à parte denominada de ‘teoria das decisões’, outros consideram algumas de suas contribuições dentro da escola comportamental.

Ao lado de tamanho pragmatismo, surge uma abordagem mais abstrata, que se consolida dos anos 50 aos 70 (séc. XX), onde a biologia entra diretamente em cena através da Teoria Geral de Sistemas (T.G.S.): “de fato, a teoria [geral] dos sistemas, que surgiu com Bertalanffy, a partir de uma reflexão sobre biologia, espalhou-se a partir dos anos 50 de maneira profusa nas mais diferentes direções” (Morin, 2001, p. 28). A administração incorpora as idéias orgânicas de sistemas abertos e procura organizá-las por meio de seus pensadores na forma de uma Teoria de Sistemas aplicada à administração, em um processo recorrente com a proposta geral de Bertalanffy. Mas, principalmente na sua fase inicial, incorpora um racionalismo mecanicista influenciado pela cibernética e a teoria das decisões. Para certos autores essa escola é um ‘divisor de águas’ (Caravantes, Panno e Kloeckner, 2005, p. 146),

por influenciar a partir dela todas as outras escolas posteriores de pensamento administrativo – devido à sua importância ela será explorada mais detalhadamente no cap. 10.

A Teoria Contingencial também está presente com unanimidade. Desenvolveu-se pela influência da visão de sistemas abertos da Teoria de Sistemas e parece ganhar sua expressão maior na década de 70. Tem suas bases a partir de uma série de pesquisas feitas para verificar quais os modelos de estruturas e processos organizacionais mais eficazes em determinados tipos de setores industriais. Apesar de ter referências em estudos a partir da década de 50, como o realizado por Burns e Stalker, que estabelece dois tipos opostos idealizados de organização, ao longo de um *continuum*: a ‘mecanicista’ de um lado e a ‘orgânica’ do outro, que passa a ser reconhecida somente após meados dos anos 60, com Lawrence e Lorsch, (Motta, 1986, p. 30, Morgan 2002, p. 64 e Chiavenato, 2003, p. 548). Os resultados das diversas pesquisas conduziram a uma nova concepção de organização: a estrutura de uma organização e o seu funcionamento são dependentes da interface com o ambiente externo, com atenção especial à tecnologia. Em outros termos, não há uma única e melhor forma de organizar (*the best way*), como pretendido na abordagem clássica, isto é, tudo depende das características ambientais (*it depends on*); assim “essa teoria propunha explicar os mecanismos de ajustamento das organizações ao seus ambientes [...]” (Chiavenato, 2003, p. 555). Chiavenato sugere que a “Teoria da Contingência parte para novos modelos organizacionais mais flexíveis e orgânicos, como a estrutura matricial, a estrutura em redes e a estrutura em equipes” (*ibidem*, p. 556).

Já que definir ideologias dominantes em determinadas épocas requer um afastamento no tempo, é normal que após os anos 70 fique ainda mais difícil definir uma escola de pensamento dominante com tanta clareza quanto as escolas até os anos 30.

Em relação à década de 80 (séc. XX), apesar de não haver unanimidade dos autores na tabela 9, predomina a idéia que foi o período da escola da Gestão da Qualidade Total, que reúne um conjunto amplo de práticas de gestão utilizadas com sucesso

pelos japoneses, as quais passam a ser reconhecidas e adotadas de forma ampla pelos EUA apenas nos anos 80. Tudo isso parece ser ratificado por outros autores que tratam da evolução da administração geral (Maximiano, 2002, p. 192 a 194 e Caravantes, Panno e Kloeckner, 2005 p. 246).

A partir da década de 90, na perspectiva da Administração Geral e com base na tabela 9, é que as coisas se complicam ainda mais. Existe certa concordância relacionada com o enfoque em ‘Organizações de Aprendizagem’, que é apoiada por outros autores, como Certo (2003, p. 38), que classifica esse tema como uma nova abordagem de pensamento na administração, e pela visão de Fleury e Fleury (1997, p. 11) que ao considerarem a inovação como um dos pilares da sobrevivência e sucesso no cenário competitivo atual, afirmam:

“Uma idéia, que encontra cada vez mais defensores, é que o conceito de inovação tem que estar profundamente imbricado no conceito de aprendizagem. Assim, a questão da aprendizagem organizacional, um tema clássico na teoria das organizações, assume novos contornos e ganha proeminência nos debates entre acadêmicos e profissionais da empresa”.

São encontradas também na tabela 9, como propostas de novas correntes de pensamento: Reengenharia, Local Orientado pela Tecnologia (ressaltando-se o uso de redes internas e externas, o que sugere como melhor denominação o termo: tecnologia de rede) e novas abordagens influenciadas pela Teoria do Caos e Complexidade.

Por estarem relacionados com o interesse do presente trabalho, os temas ‘teoria do caos’ e ‘complexidade’ e sua influência na administração serão discutidos sob a ótica de outros autores da área da administração.

Wood Jr.¹⁶ argumenta, ao tratar de temas atuais na passagem do século XX para o XXI (*in* Wood Jr., 2000, p. 59 a 73), que há uma “crescente utilização de imagens, metáforas e idéias ligadas às ciências naturais para melhor compreender os fenômenos organizacionais”. Conclui que a Teoria do Caos (“que complementa e é complementada por outras idéias, como o Paradigma da Complexidade e a Teoria Sistêmica”) pode significar uma importante quebra de paradigma na evolução do pensamento científico e, por consequência, pode alterar nossa visão de mundo e contribuir para a construção de novos modelos para entender e gerenciar organizações. Mas o autor alerta ao longo do texto que se trata de um campo ainda em aberto e muitas tentativas de aplicação da matemática do caos em finanças e economia tem possibilitado novas visões, mas, segundo o autor, não chegaram ainda em resultados conclusivos. Finalmente, ao se referir especificamente à aplicação da Teoria do Caos no campo da gestão, afirma que “até o momento não é possível avaliar se seria este um casamento de conveniência entre teoria e prática e se teria ele seus dias contados”, e ainda: “a Teoria do Caos corre em paralelo com outras correntes de idéias na construção de novos modelos para entender e gerenciar organizações”.

Outro autor nacional, em seu livro com um título bastante interessante ‘Teoria Geral da Administração: de Taylor às Redes Neurais’ (Plantullo, 2002), já trata a Teoria do Caos de forma contundentemente otimista:

“A teoria do caos, embora já há muito pesquisada nas ciências exatas, pode ser aplicada a outras áreas de conhecimento humano, sobretudo em economia e administração de empresas capitalistas digitais-neurais, abrangendo todos os seus processos pertinentes, como mercadologia, produção, logística e operações empresariais altamente competitivas, talentos e competências humanas essenciais, finanças etc. Cabe ao novo dirigente do capitalismo do conhecimento utilizá-la plenamente, de sorte a tornar a empresa não só mais

¹⁶ O livro ‘Mudança organizacional’ de Wood Jr. foi publicado originalmente em 1995 e seu conteúdo reúne uma coletânea de 12 artigos publicados, na Revista Administração de Empresas (RAE), da FGV, Revista de Administração (RAUSP), da FEA/USP, Revista Politécnica da USP e Revista da ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing, e hoje se encontra na 4ª ed.. O capítulo 3, do autor que trata do tema caos é intitulado: “Teoria do Caos e Administração de Empresas”.

humana [o que parece ser um pensamento à parte da teoria do Caos], mas também – e simultaneamente – altamente competitiva num mundo globalizado e de certa maneira imprevisível. O dirigente atual deve estar preparado para o não planejado. Essa é a essência da nova era (*op. cit.* p. 127)” [o autor inter-relaciona diretamente teoria do caos com redes neurais, o que parece um tanto inadequado].

E ainda, na visão de McMillan (2004, p. 2) a literatura corrente na área organizacional e de gestão tem sido desafiada por vários escritores, que rompem com a abordagem tradicional apresentando propostas inovadoras. A autora cita inicialmente: Gareth Morgan e seu livro *Images of Organization*¹⁷, ressaltando o uso de metáforas para explorar as noções de organização; Charles Handy e seus livros *The Age of Unreason* e *The Empty Raincoat*¹⁸, os quais oferecem novas e desafiantes visões do futuro da vida e do trabalho. Ressalta o desenvolvimento de idéias sobre Organizações de Aprendizagem, por Peter Senge e tantos outros. Cita, ainda, o brasileiro Ricardo Semler e seu livro *Maverick*. Mas considera que recentemente idéias mais radicais estão emergindo com base nas novas ciências relacionadas com a Teoria do Caos e Ciência da Complexidade, devido a pesquisas relacionadas ao tema no *Santa Fe Institute*, nos EUA e em instituições na Europa. Conforme a autora, essas idéias recentes têm sido tomadas por diversos autores da área organizacional, tais como: Ralph Stacey, Margaret Wheatley, Ijuro Nonaka e Richard Pascale.

Cabem alguns comentários sobre a obra de Morgan (2002), citada anteriormente, inclusive pela sua repercussão no Brasil. O livro aborda a organização pela ótica de oito grandes metáforas, que devem ser consideradas como complementares e concorrentes. Apesar de todas fazerem parte de um conjunto interessante, para relação com o presente trabalho serão abordadas quatro metáforas.

¹⁷ O livro *Images of Organization* foi traduzido no Brasil com o título ‘Imagens da Organização’. Na bibliografia consta a edição executiva, 2ª ed., de 2002.

¹⁸ O livro *The Age of Unreason* consta na bibliografia como “A era da irracionalidade: ou a gestão do futuro”, edição portuguesa. O livro *The Empty Raincoat* consta na bibliografia como ‘A era do paradoxo’, edição brasileira, 1992.

- A metáfora “Organizações vistas como Máquinas”: conforme Morgan (2002, p. 33 a 52) está relacionada com o pensamento mecanicista e abrange as seguintes teorias de administração: Burocracia, Teoria Clássica e Administração Científica e cita o movimento da Qualidade Total como uma forma de reação de buscar maneiras não mecânicas de organizar, ou seja, entende-se que apesar de ter aspectos mecanicistas, inclui a busca de sistemas mais flexíveis por meio de trabalhos em equipe [o autor não faz referência às escolas estruturalistas e neoclássicas, mas por estarem relacionadas às escolas clássicas, podem ser consideradas como tendo certa influência do pensamento mecanicista, mas provavelmente não poderiam ser consideradas totalmente mecanicistas por ocorrerem em épocas posteriores. A escola de Pesquisa Operacional, apesar de também não estar citada, se enquadraria perfeitamente nessa categoria mais mecanicista].
- A metáfora “Organizações vistas como Organismos”: conforme Morgan (2002, p. 53 a 89), com essa abordagem a biologia se torna a referência para analisar as organizações, o pensamento torna-se orgânico ou organicista. O autor considera nessa abordagem as escolas de Relações Humanas, Comportamental [e por decorrência poderia se incluir a escola de DO; muito embora não seja explicitada como uma escola, também considera-se que apesar da escola das relações Humanas ter uma preocupação com aspectos humanos, não se pode afirmar que ela tenha algum tipo de abordagem da biologia], Teoria de Sistemas e das Contingências. O autor inclui uma abordagem de pensamento administrativo, posterior à Teoria das Contingências, denominada de “Ecologia da População”, e cita a tendência dos biólogos atuais de considerar a evolução como resultado da evolução do padrão de relações que abrange organismos e seus ambientes [e não da adaptação de uns aos outros], em um processo que ele denomina de co-criação em um ecossistema complexo [que está relacionado com a idéia de co-evolução dos biólogos que estudam Sistemas Complexos Adaptativos].
- A metáfora “Organizações vistas como Cérebros”: a apresentação dessa proposta é feita logo após as anteriores; coincidência ou não, é similar a sequência das

propostas de evolução dos livros acadêmicos de Administração Geral, os quais sugerem as ‘Organizações de Aprendizagem’ como uma das possíveis teorias administrativas dominante nos anos 90. Nesta abordagem, Morgan (2002, p. 90 a 135) sugere considerar três maneiras inter-relacionadas para análise das organizações: (1) como cérebros processadores de informações – aborda sistemas eletrônicos de captação de dados e comunicação, redes interligadas por computadores formando teias de negócios, organizações virtuais, sistemas *just in time* e modulares [apesar de não utilizar esse termo], comércio eletrônico, fábricas e escritórios sem funcionários; (2) como sistemas complexos capazes de aprender – aborda a questão da inteligência artificial, subordinando-a ao conceito de cibernética, aprendizagem de circuito único e duplo, capacidade de se auto-organizar, comportamentos defensivos, a necessidade das organizações saberem sondar, sentir e antecipar mudanças ambientais, questionar as normas vigentes, e ainda, encorajar a organização emergente, não planejada em seus detalhes; (3) e como sistemas holográficos – “as qualidades do todo se desdobram por todas as partes [como fractais], de modo que o sistema tem a capacidade de se auto-organizar e se regenerar [autopoiese] continuamente [...] o estilo holográfico é, em grande parte, um fenômeno emergente, auto-organizador”. O autor apresenta alguns princípios para criar organizações holográficas.

- A metáfora “Organizações como Fluxo e Transformação”: Morgan (2002, p. 249 a 300), afirma logo de início que “as idéias exploradas neste capítulo levam-nos às novas ciências de autopoiese, caos, complexidade e paradoxo...”. Em seguida explora quatro lógicas da mudança: (1) Teoria da autopoiese – associa à idéia de auto-referência, e estabelece como referência conceitual para explorar o tema “uma nova abordagem à Teoria dos Sistemas desenvolvida por Humberto Maturana e Francisco Varela”; (2) Teoria do caos e da Complexidade, fazendo referência a sistemas complexos não-lineares, auto-organização espontânea, sensibilidade às condições iniciais, atratores, pontos de bifurcação, estado longe do equilíbrio e emergência; (3) Cibernética e relações circulares, com foco em circuitos de feedback negativo e positivo, casualidade mútua e padrões-chave;

(4) Tensões dialéticas entre opostos, ressaltando as contradições e paradoxos [o autor nem sempre apresenta uma organização conceitual que permita entender de forma distinta suas diferentes propostas e conceitos envolvidos].

Assim, ao analisar a evolução da Administração Geral, com suas teorias e modelos, pode-se concluir:

- As contribuições não estão presas em seu tempo; elas são aproveitadas, com adaptação ou não, em tempos posteriores. É comum haver contribuições contemporâneas relativas às escolas que surgiram outrora.
- Quanto mais distante no tempo, maior concordância com a definição de escolas de pensamento dominantes em um determinado período.
- Após os anos 40 as contribuições se apresentam de forma mais dinâmica, sendo esse processo mais acentuado no período pós-guerra.
- A teoria de sistemas, com referência na biologia, parece ser um marco que passa a influenciar a construção de modelos e teorias da Administração.
- Após o período da Gestão da Qualidade Total, em torno dos anos 80, parece haver uma grande disputa entre teorias e modelos para serem reconhecidos como significativos em um período da história. Predomina no momento uma ascensão da proposta de “Organizações de Aprendizagem”.
- Percebe-se uma influência das ditas novas ciências, Teoria do Caos e da Complexidade, no desenvolvimento do pensamento da administração. É interessante observar que a Teoria da Complexidade normalmente está associada a sistemas adaptativos complexos, os quais estão envolvidos de certa forma com aprendizagem, o que pode fazer com que a proposta anterior seja incorporada por essas novas abordagens.

- Essas novas ciências estão infiltrando toda uma nova nomenclatura e conceitos no discurso da administração, e em certos casos até novas técnicas (caos, sensibilidade às condições iniciais, estado longe do equilíbrio, auto-organização, emergência, autopoiese, atratores, ponto de bifurcação, co-criação ou co-evolução etc.).

Com relação à Administração da Produção, os livros acadêmicos dessa área não possuem, tradicionalmente, uma preocupação com a evolução cronológica dos modelos ou práticas adotados, o que dificulta a análise comparativa.

Assim, quando há uma proposta de evolução da Administração de Produção, a análise pode ser dificultada em função de ocorrer: um total desprendimento de uma referência cronológica; um conteúdo evolutivo que mistura modelos e práticas com ferramentas específicas, bases competitivas, outras escolas de administração ou, ainda, com aspectos contextuais genéricos; e, em alguns casos, apresenta apenas o foco na evolução de bases competitivas.

Uma proposta típica que, apesar de seu valor, inclui muitas dessas dificuldades, está ilustrada na figura 16 e trata-se da proposta dos autores Gaither e Frazier (2001, p. 7, fig 1.1), cujo conteúdo não foi considerado para compor a tabela comparativa 10 por não possuir uma referência cronológica.

Figura 16: A proposta de evolução da Administração de Produção de Gaither e Frazier (2001, p.7, fig. 1.1).

Para realizar a tabela comparativa 10, foram selecionados dois livros típicos de introdução acadêmica à Administração de Produção – sendo um deles de estratégia de Produção, com participação de Robert H. Hyes (Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer, 2004) –, e ainda, um artigo bastante conhecido no meio acadêmico da Engenharia de Produção, que trata da evolução de focos competitivos (Bolwijn e Kumpe, 1990), todos com modelos evolutivos de Gestão da Produção com referência cronológica.

Com base na tabela 10, percebem-se algumas das dificuldades citadas anteriormente, o que requer um esforço para elaboração da proposta de um modelo com base nessas diferentes perspectivas.

Tabela: 10 – Comparativo de propostas de evolução da Adm. da Produção.

	Bolwijn e Kumpe, 1990	Paiva, Carvalho Jr e Fensterseifer, 2004¹⁹		Reid e Sanders, 2005.		Chase, Jacobs, Aquilano, 2006.	
	Base Competitiva	Fase	Base Competitiva	Fase	Base Comp.	Fase	
1900 – 1910	-----	Admin. Científica [inclui a formação do Fordismo]	Eficiência	Admin. Científica e Técnicas Quantitativas [primórdios]	-----	-----	
1910 – 1920						Admin. Científica Psicol. Ind. Linha de Montagem Lote Econômico	
1920 - 1930		Anos dourados da Manufatura	Volume	Movimento das Relações humanas		C.Q. Hawthorne [Rel. Human.]	
1930 – 1940		[incrementos de P.O. e início do MRP]				Equipes multidiscipl.	
1940 – 1950		Declínio da Manufatura Americana [expansão do Toyotismo – Produção Enxuta] Automação de base eletrônica	Qualidade e Variedade + [Velocidade]			Era do Computador [MRP] J.I.T. T.Q.M. Reengenharia	P. O.
1950 – 1960							MRP/ Qualidade e Produt. nos Serviços
1960 - 1970	Eficiência	Eficiência e Qualidade	Eficiência , Qualidade e Flexibilidade	Gestão da Cadeia de Suprimento/ Concorrência Global/ Aspectos Ambientais Comércio Eletrônico	Flexib. e Tempo	+ GQT	
1970 – 1980	Manufatura como arma competitiva [Fábrica do Conhecimento/ Customização em Massa/ Sistemas Inteligentes]					Qualidade, Variedade, Velocidade [+ Serviços Agregados]	Reengenharia
1980 – 1990						Empresa Eletrônica	
						Gestão da cadeia de Suprimento	
						Comércio Eletrônico	
1990 – Atual	Eficiência , Qualidade, Flexibilidade e Inovação	Manufatura como arma competitiva [Fábrica do Conhecimento/ Customização em Massa/ Sistemas Inteligentes]	Qualidade, Variedade, Velocidade [+ Serviços Agregados]	Gestão da Cadeia de Suprimento/ Concorrência Global/ Aspectos Ambientais Comércio Eletrônico	Flexib. e Tempo	+ GQT Reengenharia Empresa Eletrônica Gestão da cadeia de Suprimento Comércio Eletrônico	

¹⁹ Os autores apresentam duas propostas de evolução, com abordagens relativamente complementares, uma baseada em Skinner e outra em Roth (Paiva, Carvalho Jr e Fensterseifer, 2004, p. 23 a 33), e há no texto informações também complementares sobre as fases citadas na primeira proposta. A tabela procurou integrar as diferentes fontes.

A perspectiva principal da evolução da gestão de produção envolve a mudança do modelo clássico Taylorista/Fordista, que praticamente predomina até início década de 70. Conforme Zilbovicius (1999, p. 17 a 19), diversas técnicas relacionadas à Engenharia de Produção são importadas do Japão durante os anos 70 e 80 [o que inclui o *just in time* - J.I.T.], até que se consolida nos anos 90 um novo modelo de gestão de produção no ocidente: o “*Lean Production*”, baseado nas práticas do sistema Toyota de produção – que parece concorrer com novas abordagens decorrentes de redes informatizadas.

É interessante observar que Zilbovicius (*ibidem*, p. 284 e 285) aponta como um dos aspectos essenciais das práticas desenvolvidas no Japão a questão de aceitar a ‘incerteza’ proveniente do mercado, tornando a produção “objeto de comportamento incerto, devido ao mercado e a eventos não controláveis/previsíveis que a engenharia do modelo clássico se esforçava para controlar/prever”. Ainda em relação à incerteza o autor afirma: “diversas estratégias são empregadas para gerir a incerteza – e não para eliminá-la [...]”. Sob esse aspecto, apesar de considerar que o novo modelo assenta-se sobre o pensamento mecanicista clássico, próximo dos princípios do ‘Fordismo puro’ da década de 20, a argumentação do autor incorpora o discurso das perspectivas das novas ciências da complexidade, que valorizam a capacidade de lidar com a incerteza, por não ser possível eliminá-la.

Zilbovicius, ao tratar a mudança do ‘pensamento clássico’ na Administração Geral e Gestão da Produção, apresenta afinidades com a linha do ‘pensamento complexo’ de Edgar Morin:

“Lançaremos mão de algumas das idéias e proposições de E. Morin a respeito do problema da complexidade e do surgimento de um novo paradigma (no sentido ampliado com relação à proposta de Kuhn [...]) no campo da ciência e do método científico, que parecem contribuir especialmente para o processo de transição em curso” (*ibidem*, p. 106).

Zilbovicius (*ibidem*, p.113) aborda a idéia de Morin sobre o esgotamento do ‘paradigma da simplificação’, fundamentado na ciência clássica e sua metodologia, o que, por consequência, leva ao esgotamento do pensamento clássico na Administração da Produção. O autor cita a proposta de Morin da necessidade de um ‘paradigma da complexidade’ e apresenta a crítica de Morin acerca da visão racionalista do Taylorismo, que, mesmo ao deparar com fatores humanos, mantém o enfoque na racionalização do trabalho: “[...] a brutalidade desenfreada da racionalização pôde ser por vezes temperada [pelo humanismo], depois contida e parcialmente refreada no Ocidente. Mas ela difundiu-se no mundo” (Morin *apud* Zilbovicius, 1999,p.112).

Mas, apesar da existência de certos aspectos mais alinhados com a complexidade, não se identificou no novo modelo proposto, com base nos próprios argumentos do autor, uma verdadeira mudança de paradigma de pensamento, até por não envolver diversos elementos da proposta ampla de Morin. Isso pode indicar que uma aproximação com as novas ciências e novas formas de pensar venha desenvolver novos modelos e/ou práticas que estarão além da proposta do “*Lean Production*”, que parece ser o modelo atual dominante no Ocidente para a Gestão da Produção. Tal idéia se reflete nas palavras de Zilbovicius (*ibidem*, p. 286):

“ Foram as condições econômicas e sociais que provocaram mudanças nas práticas e construção de um novo modelo [*Lean*]. De fato, o mesmo vale para o modelo clássico, consolidado nas primeiras décadas do século XX. Mas, acrescentando-se a essa constatação o fato de que o novo ambiente tem a instabilidade e a incerteza como aspectos essenciais, surge um novo problema: o novo modelo tende a ter vida curta, requerendo constante revisão e re-institucionalização”.

Também com relação às perspectivas futuras da Administração, apesar da abordagem de ‘redes’ aparecer sutilmente na evolução da Administração geral como ‘tendências atuais sob a ótica da tecnologia da informação’, e apesar do fato de, na evolução da Administração da Produção, a idéia de rede estar relacionada, limitadamente, às

práticas de ‘gestão da cadeia de suprimentos e ao comércio eletrônico’, considera-se esse um tópico de extrema relevância e dotado de uma abrangência muito maior no contexto atual da administração de sistemas organizacionais produtivos, ao lado dos citados sistemas inteligentes como armas competitivas. “O conceito de rede é, de forma geral, muito abrangente e complexo. [...] as redes estão situadas no âmago da teoria organizacional [...] (Amato Neto, 2000, p. 46).

“As mais recentes tecnologias de informação (*internet*, *intranets* e outras emergentes) e os novos arranjos de organização empresarial do Ocidente reforçam os modelos de cooperação, alianças estratégicas e redes internas e externas às empresas, como já ocorre nos *Keiretsu* japoneses e *Chaebol* sul-coreanos” (Amato Neto, 2000, p. 35).

A expansão da base competitiva envolvendo múltiplas variáveis de performance – eficiência, qualidade, flexibilidade, rapidez e inovação – exige esforços e arranjos organizacionais diferenciados não apenas no nível da organização mas também no âmbito de um coletivo organizacional, o que indica a abordagem de rede como alternativa para lidar com os desafios organizacionais em múltiplos níveis.

Design organizacional, concepção das fronteiras do próprio negócio e as relações entre negócios estão atualmente envolvidos em uma grande dinâmica transformacional provocada pela economia global, de modo que, sob a perspectiva de rede, espera-se que seja possível melhor entender, modificar e criar sistemas produtivos de uma forma mais adequada à atual realidade.

Os estudos da complexidade decorrentes do *Santa Fe Institute* têm promovido, por meio de alguns dos seus pesquisadores, a proposta de uma ‘ciência de *networks*’, como sendo a ciência do mundo real da ‘era conectada’ – das pessoas, amizades, rumores, doenças, mentiras, empresas, da inovação organizacional e das crises financeiras –, que poderá fornecer uma diferente maneira de pensar sobre o mundo, fazendo refletir, inclusive, uma nova luz sobre velhos problemas (baseado em Watts, 2003, p. 13 e 14).

Os desenvolvimentos científicos nessa área de pesquisa envolvem principalmente modelagem computacional e têm chamado a atenção cada vez maior de sociólogos e pesquisadores do campo organizacional; assim, é provável que muitos dos resultados dessa área da Complexidade sejam amplamente incorporados nas teorias organizacionais, até mesmo com mais intensidade do que as idéias relacionadas à Teoria do Caos.

Outro tema diretamente presente na Administração da Produção, com tendência de se tornar ainda mais relevante, é a relação da gestão com o meio ambiente. Morin (2005, p. 162 a 167) fala de uma ética planetária, devido à necessidade de se reconhecer que as questões envolvidas no destino do planeta estão acima dos destinos singulares das nações. Também fala da necessidade de “regular os quatro motores descontrolados que impulsionam a nave espacial terra rumo ao abismo: ciência, técnica, economia e lucro” e que “é notável que os males que ameaçam o planeta [...] sejam todos produzidos pela racionalidade ocidental”.

A relação entre os indivíduos e o ecossistema, pode ser mais bem compreendida visualizando este como um sistema complexo do qual os indivíduos fazem parte. Iniciativas como a de Gondolo (2000, p. 87), que buscam aplicar princípios da complexidade à questão ambiental, podem abrir novas perspectivas quanto à responsabilidade e o papel das organizações em relação ao meio ambiente.

Considerando todos os argumentos anteriores, procurou-se estabelecer um modelo que reunisse a evolução das perspectivas discutidas neste capítulo. Na figura 17, está apresentado um modelo conceitual que formula uma proposta para representar a evolução da gestão, sob o enfoque das escolas de administração e da gestão de sistemas produtivos.

Figura 17: Proposta representacional da evolução da gestão, considerando as escolas de Administração e a Gestão da Produção.

Percebe-se uma constante evolução nas propostas de gestão, onde abordagens gerais e contribuições específicas se relacionam ao longo do tempo.

Considera-se importante a identificação da influência do pensamento mecanicista nas propostas iniciais de teorias/modelos e a posterior busca de formas mais orgânicas de se pensar. Entretanto, as recentes propostas relacionadas com as novas ciências parecem estar além de uma perspectiva orgânica, ou seja, conforme Morin (2001, p. 41) deve-se ir além do “organicismo”, o qual estabelece analogias com o organismo animal; deve-se ir em direção ao “organizacionismo”, que busca os princípios comuns de organização.

A Administração Geral possui uma dinâmica evolutiva que pode ser relacionada com a evolução de áreas específicas de conhecimento (estratégia, marketing, produção

etc.). No caso, a relação com a Administração de Produção tem uma importância fundamental, pois as teorias da Administração Geral nasceram com base na gestão da produção e grande parte de suas escolas de pensamento não perdeu a relação com os sistemas de produção. E, a partir do aumento da importância estratégica da produção nos anos 80, percebe-se que o foco do pensamento administrativo volta-se novamente para os sistemas organizacionais da produção.

Os livros acadêmicos que tratam da introdução à Administração Geral e à Administração de Produção abordam, direta ou indiretamente, apenas de forma tímida as tendências nas novas ciências – isso quando o fazem. A cautela se justifica em razão do excesso de modismos temporários. Outras contribuições na área da Administração citadas aqui, normalmente de apoio à formação acadêmica, estão explorando mais diretamente o assunto Caos e Complexidade, especialmente o Caos, o que se supõe ser ainda repercussão do sucesso do livro de Gleick (1990) “Caos: a criação de uma nova ciência”.

Assim, é provável que as organizações entendidas como sistemas complexos terão como referência cada vez mais os novos conhecimentos científicos associados à Complexidade que estão por surgir, pois eles tratam de questões que podem ser consideradas comuns a todos os sistemas de natureza complexa. Existe a possibilidade de que temas como organizações de aprendizagem, ecologia populacional, tecnologia de redes (do ponto de vista intra e inter-organizacional), e até mesmo a teoria do caos, sejam abrigados sob o ‘guarda chuva’ da Complexidade – ou Ciência(s) da Complexidade.

6. ESTUDO DE ARTIGOS QUE RELACIONAM COMPLEXIDADE À GESTÃO

O objetivo desse capítulo é, por meio da análise de artigos científicos que relacionam a complexidade com a gestão organizacional, realizar uma introdução à terminologia da complexidade e questões relacionadas ao tema, assim como apresentar propostas existentes da aplicação da complexidade no campo da gestão.

A produção de artigos que relacionam a complexidade à gestão torna-se bastante significativa a partir dos anos 90. Como citado anteriormente, isso é devido ao tema ter sido popularizado por livros com enfoque em jornalismo científico. A partir do momento em que a complexidade ganha notoriedade científica a produção de artigos publicados em *journals* reconhecidos no meio acadêmico é natural.

O critério de seleção adotado foi buscar contemplar artigos extraídos dos seguintes *journals* sugeridos pelo orientador: *Organization Science* e *Strategic Management*. Pode-se observar, com base no estudo bibliométrico, que esses se encontram entre os seis primeiros *journals* com mais artigos publicados sobre o tema.

Procurou-se identificar os artigos mais pertinentes relacionados com a questão da “complexidade”, disponíveis em texto completo nas bases de dados da USP.

Com a intenção de avaliar se há alguma evolução no tipo de contribuição, os artigos selecionados foram agrupados em duas partes: de 1995 a 1999 (item 6.1 deste trabalho) e depois de 2000 (item 6.2).

Para cada artigo foi realizada uma análise de seu conteúdo através do agrupamento de suas principais idéias nos seguintes tópicos (unidades temáticas de registro):

1. Definição da complexidade
2. Referência a uma "teoria da complexidade"
3. Evolução da complexidade

4. Abordagem teórica da complexidade
5. Principais termos relacionados à complexidade
6. Proposta de aplicação da complexidade à gestão
7. Perspectiva futura da complexidade

Estas análises individuais estão apresentadas no Apêndice A, sendo que no texto do presente trabalho está incluída apenas uma apresentação geral de cada artigo. Com base nas análises de conteúdo (apêndice), no item 6.3 haverá uma comparação dos artigos agrupados por período em relação a cada tópico (unidade temática utilizada para a análise de conteúdo).

6.1 – Artigos de 1995 a 1999

A tabela 11, a seguir, apresenta os artigos selecionados para estudo no período de 1995 a 1999.

Tabela 11: Artigos selecionados de 1995 a 1999

<i>Journal</i>	Nº	Título	Autor/Ano	Apêndice
<i>Organization Science</i>	1	<i>Complexity theory and organization science (perspective)</i>	Philip Anderson, 1999	A
	2	<i>Through the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving system</i>	Bernoit Morel and Rangaraj Ramanujam, 1999	
<i>Strategic Management</i>	3	<i>The science of complexity: an alternative perspective for strategic change processes</i>	Ralph D. Stacey, 1995a	

Apresentação do Artigo 1: Complexity theory and organization science (perspective), de Anderson (1999).

Esse artigo é citado em publicações de outros autores. O autor é um dos membros do *Santa Fe Institute*, laureado com o prêmio Nobel em física e já demonstrou outrora a preocupação com a identificação e classificação das fontes de conhecimento para formação de teorias da complexidade em um artigo publicado em 1994 (Anderson *in* Cowan, Pines e Meltzer, 1999, p. 7 a 16).

Neste artigo o autor associa a complexidade à não-linearidade e, apesar de diferenciar teoria do caos da teoria da complexidade e relacionar ambas às contribuições ao tema complexidade na atualidade, em um momento se refere à questão da complexidade como teoria e em outro momento como ciência.

O autor entende que a complexidade está presente nos discursos dos cientistas organizacionais desde que a visão das organizações como sistemas abertos foi disseminada.

Classifica os sistemas complexos em dois tipos: (1) ‘sistemas dinâmicos determinísticos’, que envolvem a teoria do caos, a teoria da catástrofe, a cibernética e a teoria de sistemas clássica; e (2) ‘sistemas adaptativos complexos’ (SACs) – os quais sugere como referência mais adequada ao estudo das organizações. Aborda esse último como sendo esquemas de interações entre agentes individuais e desses com o ambiente, tal que emergem padrões não determinados de comportamento do sistema, em função de considerar os SAC como redes auto-organizadas sustentadas por importação de energia – ou seja, como estruturas dissipativas. Afirma que a dinâmica evolucionária envolve co-evolução no limite do caos – longe do equilíbrio.

Argumenta que simulações computacionais com uso de autômatos celulares, redes neurais e algoritmos genéticos têm sido úteis para compreensão de SACs. Discute como as características gerais de SACs podem ser associadas à dinâmica organizacional e em especial à estratégia.

Considera que as ciências da complexidade, em especial a modelagem de comportamentos não-lineares, e teorias organizacionais podem co-evoluir.

Apresentação do Artigo 2: Trough the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving systems, de Benoit e Ramanujam (1999)

O artigo reflete a dificuldade de se abordar um tema em desenvolvimento e com implicações em diferentes naturezas de sistema. A própria definição de complexidade a ser utilizada no artigo, associada a um grande número de elementos interagindo, parece não estar clara ao ser aplicada em sistemas organizacionais.

Enfatizam que os pesquisadores da complexidade estão fascinados pela utilização dos computadores na exploração de dinâmicas não-lineares (em especial citam autômatos celulares).

O enfoque matemático e computacional versus conceitual parece ser um dilema para os autores, ou entre os autores, pois existem abordagens conflitantes sobre essa

questão ao longo do artigo. Outros dilemas identificados estão relacionados ao uso, ou não, de conhecimentos oriundos da biologia natural, e ainda, da transposição de conclusões de simulações computacionais, ou não, para a realidade de sistemas organizacionais humanos.

Apesar de não considerarem a perspectiva da complexidade restrita a uma disciplina, os autores parecem considerar equivalentes termos que podem ter significados diferentes, tais como interdisciplinar e multidisciplinar.

Questionam a relação do conceito de caos com a complexidade. Entretanto, por considerarem as organizações como sistemas complexos, entendem importantes as seguintes áreas de conhecimento da complexidade para a teoria organizacional: SACs ; Fractais; Criticalidade auto-organizada; e auto-organização.

Defendem a idéia de que as organizações buscam mais a melhora do seu ‘nível de referência de desempenho’ do que a otimização das suas funções, e que essa dinâmica é criticamente auto-organizada.

Os autores parecem ter dificuldade em manter a organização do próprio artigo coerente com sua proposta inicial. Propõem-se, no início do artigo, a utilizar os conceitos procedentes da “Teoria de Sistemas Complexos” (TSC) em duas áreas da “Teoria das Organizações” (TO): evolução organizacional e redes sociais, assim após explorar conceitos introdutórios relacionados à TSC, apresentam uma seção denominada ‘modelos de evolução organizacional’; mas a seção seguinte, a qual precede a discussão final e cujo título deveria estar relacionado a redes sociais, é intitulada de ‘auto-organização’. Fica, então, a cargo do leitor supor que auto-organização seria o enfoque principal relacionado à teoria de sistemas complexos que os autores consideram adequado para tratar as redes sociais, mas isso exige um esforço, já que os autores afirmam no próprio artigo que a auto-organização está presente nas duas áreas de pesquisa citada (evolução organizacional e redes sociais).

Apresentação do Artigo 3: The science of Complexity: an alternative perspective for strategic change processes, de Stacey (1995a).

O autor, professor da Universidade de Hertfordshire, está entre os de maior produção sobre complexidade relacionada à gestão. Uma de suas primeiras obras literárias, e uma das mais conhecidas, é *The Chaos Frontier* de 1991²⁰.

Relaciona complexidade com não-linearidade e menciona uma ‘ciência da complexidade’, assim como considera que já existe o interesse de aplicar os conceitos de complexidade nos sistemas sociais.

Com estilo um tanto quanto redundante o artigo procura abordar diversos conceitos para aplicação da complexidade, mas ressalta a importância da instabilidade limitada (sistemas longe do equilíbrio) e da auto-organização (a qual associa à idéia de ordem emergente).

Apresenta extensa discussão sobre propriedades sistêmicas, emergência e a questão da escolha. Caracteriza o funcionamento dinâmico de sistemas por meio das “redes booleanas”, explorando bastante as pesquisas do biólogo Stuart Kauffman, ligado ao *Santa Fe Institute*. Também coloca que, de forma equivalente às redes booleanas, os autômatos celulares têm proporcionado conclusões semelhantes quanto ao comportamento de sistemas complexos.

Sua principal sugestão é que a ciência da complexidade pode prover uma estrutura conceitual alternativa para a abordagem da estratégia.

²⁰ Na bibliografia está citada sua tradução em português (de Portugal): “Fronteira do Caos” publicada em 1995 pela editora Bertrand.

6.2. Artigos depois de 2000

A tabela 12, a seguir, apresenta os artigos selecionados para estudo no período depois do ano 2000.

Tabela 12: Artigos selecionados depois de 2000

<i>Journal</i>	Nº	Título	Autor/ano	Apêndice
<i>Organization Science</i>	4	<i>Designing Work Within and Between Organizations</i>	Kingshuk K. Sinha and Andrew H. Van de Ven, 2005	A
	5	<i>Organizing Far From Equilibrium: Nonlinear Change in Organizational Fields</i>	Alan D. Meyer and Vibha Gaba and Kenneth A. Colwell, 2005	

Apresentação do Artigo 4: Designing Work Within and Between Organizations, de Sinha e Van de Ven (2005).

Quanto ao primeiro autor, foi identificado que artigos do mesmo são citados por outros autores em livros de negócios, mas não foi identificado nenhum livro de sua autoria. Entretanto, o segundo autor possui uma produção de livros na área de mudança e inovação, em função de atividades vinculadas à Universidade de Minnesota.

O artigo possui foco na discussão das estruturas organizacionais do trabalho (*organizational design*) em função de mudanças na natureza e nas relações de trabalho. Ele reflete certas tendências recentes de artigos na área organizacional, as quais abordam a perspectiva da complexidade de forma específica e delimitada dentro de um contexto mais amplo de teorias e práticas organizacionais.

O artigo apresenta uma extensa discussão sobre estrutura organizacional, estabelecendo como principal referência a teoria das contingências. Apesar das questões a serem exploradas sobre o tema complexidade representarem uma diminuta parte do artigo, isto não torna sua abordagem menos importante. A perspectiva da complexidade é vista como uma alternativa teórica para se encontrar propostas de estruturas organizacionais (que no contexto do artigo é equivalente ao termo design organizacional) mais adequadas à dinâmica atual dos negócios.

Associa a questão da complexidade à dinâmica não linear e à emergência de múltiplos níveis. Explora o modelo e os conceitos de *fitness landscape* e co-evolução de Kauffman, mas com ressalvas quanto à aplicação no campo organizacional. Os autores consideram que, em função da atual dinâmica de *networks* de trabalho, são necessárias novas teorias e habilidades gerenciais para tratar as dimensões horizontal e vertical dos novos sistemas de trabalho. Afirmam que análises de *networks* sociais são promissoras fontes de insights e métodos para estabelecer soluções estratégicas das estruturas de trabalho.

Apresentação do Artigo 5: Organization far from equilibrium: nonlinear change in Organizational Fields, de Meyer, Gaba e Colwell (2005).

Conforme citação do próprio *journal* em que se encontra o artigo, Meyer tem escrito sobre adaptação organizacional e mudanças nos limites das fronteiras setoriais. No período da publicação do artigo estava ligado à Universidade de Oregon. Suas pesquisas, assim como as pesquisas de Colwell, que consta como ligado à universidade de Drexel, focam emergência e evolução relacionadas a redes. Sobre Viba Gaba cita-se que está ligado ao INSEAD e sua área de pesquisa está relacionada à mudança e inovação organizacional. Não foram localizados livros publicados pelos autores.

O artigo faz uma crítica da forma como a teoria da organização aborda tradicionalmente as mudanças organizacionais, utilizando preceitos de linearidade e

equilíbrio – associados à idéia da existência de uma ‘realidade linear geral’, como um paradigma dominante.

Exploram idéias como: equilíbrio intervalado (que pode ser associado a leis de potencia), sistemas longe do equilíbrio e co-evolução, e ainda, citam os SAC como uma referência conceitual e metodológica para modelar interações não lineares. Porém, exploram bastante as recentes teorias de *networks* desenvolvidas com base em computadores.

O artigo explora a própria experiência dos autores com pesquisas organizacionais. Partiram dos preceitos de linearidade e equilíbrio e tiveram que ter sua condução das pesquisas e conclusões revistas por terem que lidar com organizações em ambientes hiper-turbulentos, as quais passaram ser consideradas como operando longe do equilíbrio. Apresentam a proposta de conduzir uma pesquisa em setor emergente utilizando abordagens em multi-níveis, princípios dos sistemas adaptativos complexos (SAC) e a perspectiva da evolução de redes ou *networks* –consideram que tradicionalmente as pesquisas abordam ‘organizações em *network*’ e não ‘*networks* se organizando’.

6.3. Comparação dos artigos e Mapa Conceitual da Complexidade [1]

Será estabelecida uma análise por cada tópico da análise de conteúdo, comparando a abordagem dos artigos até 1999 com os de depois de 2000, seguido de uma discussão sobre cada tópico. Para tanto, será feita uma síntese interpretativa das análises de conteúdo dos artigos, agrupados por período. Nessa síntese serão selecionados os aspectos considerados relevantes, com a busca de seus fundamentos quando necessário, consolidando suas complementaridades e identificando seus aspectos concorrentes e antagônicos. Essas análises e discussões estão apresentadas nas tabelas 13 a 19.

Após a discussão de todos os tópicos será apresentado um mapa conceitual preliminar, voltado para os conceitos relacionados à complexidade, baseado no conteúdo dos artigos.

Tabela 13: Análise do tópico 1 dos artigos: ‘definição da complexidade’.

Tópico 1: Definição da Complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
Complexidade está associada ao comportamento de sistemas complexos, que constituem um todo com muitas partes interagindo entre si e com seu ambiente, tal que a rede de interações apresenta uma dinâmica não-linear que faz com que o sistema apresente propriedades emergentes.	Complexidade está associada em grande parte a um número de elementos interagindo, tal que forma-se uma rede de feedback com propriedades dinâmicas não-lineares, permitindo que mudanças possam ocorrer em múltiplos níveis de sistema.
Discussão sobre o tópico	
<p>Pode-se sintetizar que a complexidade estaria associada ao ‘comportamento de sistemas complexos, que são abertos e compostos de muitos elementos e interações, formando uma rede de feedback com uma dinâmica não-linear, tal que propriedades emergentes podem ocorrer em múltiplos níveis de sistema’.</p> <p>Interações entre elementos, dinâmica não-linear e propriedades emergentes são características comuns na caracterização do comportamento complexo de sistemas abertos. Mas é discutível se há necessidade de se generalizar a necessidade de ‘muitos elementos’</p>	

para se exibir um comportamento complexo. Autores como Camazine *et al* (2001, p. 11) afirmam categoricamente que “sistemas são complexos não por envolverem muitas regras de comportamento ou um grande número de componentes diversos, mas devido à natureza da resposta global do sistema”, resposta essa, conforme os autores, que apresenta propriedades globais [emergência] que não estão presentes nos níveis mais baixos. Outros, são mais ponderados: “como regra, havendo um grande número de partes no sistema é mais provável que complexidade ocorra” (Çambel, 1993, p. 4).

Tabela 14: Análise do tópico 2 dos artigos: ‘Referência à uma teoria da complexidade’.

Tópico 2: Referência à uma teoria da complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
Não há uniformidade na terminologia, tal que termos como ‘teoria da complexidade’, ‘ciência da complexidade’ e ‘teoria de sistema complexos’ são utilizados de forma equivalente. Há uma dominância de pensamento quanto à questão de não existir uma ‘teoria unificada’ relacionada à complexidade, tal que, para certos autores é recomendável tratar a complexidade como uma perspectiva. É interessante ressaltar a proposta de considerar a teoria da complexidade, que estaria voltada para SAC, como distinta da teoria do caos.	Os autores parecem evitar tal abordagem, quando muito referem-se a uma perspectiva da complexidade.
Discussão sobre o tópico	
Em função de não estar consolidada uma classificação de referência sobre a complexidade, parece haver nos artigos do período mais recente uma tendência de se abordar aspectos selecionados da complexidade com a finalidade de uma aplicação, evitando-se, assim, uma discussão mais ampla sobre a questão de uma teoria da complexidade. Isso pode ser devido às dificuldades dos autores em ter acesso a uma organização geral dos conceitos e a um tratamento mais epistemológico dessa área de conhecimento, que lhes seja satisfatório. Apesar da falta de uniformidade para tratar a complexidade, surge a proposta de tratar teoria do caos como distinta da teoria da complexidade [associada inicialmente a SAC]. Sempre esteve presente a alternativa de se considerar a complexidade como uma perspectiva.	

Tabela 15: Análise do tópico 3 dos artigos: ‘evolução da complexidade’.

Tópico 3: evolução da complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
<p>Uma questão, que quando não está abordada diretamente o está indiretamente, é o surgimento da complexidade como um contraponto à abordagem linear, reducionista e determinista oriunda principalmente da física e da matemática newtoniana. Existe ainda a colocação que a complexidade surge também para contrapor-se à evolução darwiniana [acredita-se que seja quanto ao aspecto de ser uma evolução incremental e ‘totalmente’ aleatória].</p> <p>Assim, da mesma forma que a abordagem mecanicista – com seus aspectos lineares, reducionistas e deterministas – nasceu principalmente da física e matemática, a maioria considera que a complexidade surge como oriunda do desenvolvimento dessas mesmas áreas, acrescida do desenvolvimento da área computacional.</p> <p>Foi abordado que a corrente atual ganha notoriedade em torno de 1980 devido ao <i>Santa Fe Institute</i>. E, considerando a perspectiva sistêmica, a origem da corrente atual está relacionada ao desenvolvimento de duas ondas anteriores: (1) após a Primeira Guerra, com holismo e gestalt e (2) em torno dos anos 60, com a cibernética e a teoria geral de sistemas.</p>	<p>Praticamente nenhuma citação direta a respeito. Há apenas o reconhecimento de um crescente aumento da literatura tratando da complexidade organizacional e da existência de uma ‘realidade linear geral’ oriunda da física newtoniana, a qual deve ser revista.</p>
Discussão sobre o tópico	
<p>A diferença de profundidade de abordagem do tema entre os dois períodos pode ser interpretada como sendo devida a duas possíveis razões: (1) a necessidade das contribuições até o período de 1999 de situar a questão da complexidade dentro de um contexto histórico</p>	

para justificá-la como uma tendência resultante de uma evolução, ressaltando assim sua importância. Essa questão poderia ser considerada como desnecessária nas contribuições após 2000 pela possibilidade de já se considerar a complexidade como um tema de importância reconhecida; (2) como já mencionado, isso pode ser devido a certos autores evitarem a questão por terem dificuldades de acesso a uma organização geral dos conceitos e a um tratamento mais epistemológico dessa área de conhecimento.

Uma questão interessante é que quando há uma proposta de desenvolvimento da complexidade, parece que essa passa a ser considerada como uma área de conhecimento importante somente a partir do momento em que ela “voltou nas ciências pela mesma via que a tinha banido. O próprio desenvolvimento da ciência física, que se dedicava a revelar a ordem impecável do mundo, o seu determinismo absoluto e perpétuo [...] desembocou na complexidade do real” (Morin, 2001, p. 20).

Independentemente de sua evolução, a complexidade é vista em ambos os períodos como um contraponto da perspectiva mecanicista, que possui uma abordagem linear, reducionista e determinista oriunda da física-matemática newtoniana.

No primeiro período pode-se perceber o estabelecimento da complexidade, entendida como uma caracterização de sistemas complexos, resultante da evolução da Teoria Geral de Sistemas.

Tabela 16: Análise do tópico 4 dos artigos: ‘Abordagem teórica da complexidade’.

Tópico 4: Abordagem teórica da complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
Justifica-se a proposta de diferenciar os sistemas adaptativos complexos (SAC) da teoria do caos (incluindo fractais) e da catástrofe, por considerar esses últimos como sistemas dinâmicos determinísticos que podem ser tratados por equações, enquanto o SAC está relacionado a comportamentos dinâmicos de rede. Há, inclusive, o questionamento se o conceito de caos pode ser relacionado com sistemas complexos.	Existe a citação quanto à necessidade de se desenvolver, na área organizacional, modelos para tratar a dinâmica não-linear. A referência proposta tem sido a de SAC, sempre com certas ressalvas. Mas existem referenciais teóricos distintos em cada artigo: <ul style="list-style-type: none"> • Um está voltado para o modelo de Kauffman, explorando o conceito de co-evolução, <i>fitness landscape</i> e equilíbrio intervalado, com a finalidade de entender

<p>Buscando-se caracterizar propriedades da complexidade, é apresentada uma miríade de propostas, incluindo idéias de estruturas dissipativas e auto-organização, mas a maioria está embasada em SACs, introduzindo-se a idéia de redes (<i>networks</i>), principalmente com base no modelo de Kauffman.</p>	<p>os novos designs organizacionais de redes de trabalho (ou de negócios).</p> <ul style="list-style-type: none"> • O outro inicia seu posicionamento para caracterização de SAC estabelecendo como referência Philip Anderson (autor do período anterior e do artigo 1 deste trabalho) e depois se foca nos estudos de <i>network</i> de Barabási, Watts e Strogatz²¹ para apresentar sua contribuição relacionada ao desenvolvimento de redes de negócios em um setor emergente.
Discussão sobre o tópico	
<p>Percebe-se que no período até 1999 existe a preocupação de abordar as diversas contribuições consideradas relacionadas à complexidade, tais como: a matemática do caos e fractais, a termodinâmica do não-equilíbrio [estruturas dissipativas] e estudos relacionados a SAC dos pesquisadores do <i>Santa Fe Institute</i>. Já no segundo período o discurso volta-se quase que exclusivamente para SAC, com maior tendência de se focar nos estudos de redes que evoluíram em conjunto com essa abordagem e utilizam modelagem computacional. Em ambos os períodos percebe-se a influência do modelo de Kauffman.</p>	

Tabela 17: Análise do tópico 5 dos artigos: ‘Principais termos relacionados à complexidade’.

Tópico 5: Principais termos relacionados à complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
<p>Os termos relacionados, e em quantos artigos foram encontrados (dentre os três analisados nesse período), são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interações - 3 • Não-linearidade / dinâmica não-linear - 3 • Rede ou <i>network</i> (adjetivadas de diferentes formas) - 3 • Auto-organização ou rede 	<p>Os termos relacionados, e em quantos artigos foram encontrados (dentre os dois analisados nesse período), são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interações - 2 • Não-linearidade ou dinâmica não-linear - 2 • Rede ou <i>network</i> (adjetivadas de diferentes formas) - 2

²¹ Na bibliografia estão citadas obras desses autores: Barabási (2003), Watts (1999 e 2003) e Strogatz (2003)

<p>auto-organizada – 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emergência ou comportamento emergente - 3 • SAC - 3 • Evolução ou dinâmica evolucionária - 3 • Sistema ou estado longe do equilíbrio - 3 • Fractais ou auto-similaridade - 3 • Autômatos celulares - 3 • Sistemas dinâmicos - 2 • Grande número de elementos - 2 • Ciência da complexidade - 2 • Teoria do caos - 2 • Agentes - 2 • Atratores estranhos - 2 • Sensibilidade às condições iniciais - 2 • Feedback (positivo e negativo) - 2 • Criticalidade auto-organizada - 2 • Estrutura dissipativa - 2 • Limite do caos ou instabilidade limitada - 2 • Importação de energia - 1 • Redes booleanas - 1 • Recombinação - 1 • Equilíbrio intervalado - 1 • Lei 1/f (leis de potência) - 1 • Co-evolução - 1 • Teoria da complexidade 1 • Teoria de sistemas complexos - 1 • Causalidade circular - 1 • Abordagem em multi-nível - 1 • Um todo interdependente com seu ambiente - 1 • Agentes com esquematização - 1 • Algoritmos genéticos - 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Auto-organização ou rede auto-organizada - 2 • Emergência ou comportamento emergente - 2 • SAC - 2 • Co-evolução - 2 • Equilíbrio intervalado - 2 • Lei 1/f (leis de potência) - 1 • Sistema ou estado longe do equilíbrio - 1 • Evolução - 1 • Número de elementos - 1 • Perspectiva da complexidade - 1 • Dinâmica caótica - 1 • Agentes - 1 • Agentes com esquematização - 1 • <i>Fitness landscape</i> - 1 • Feedback positivo - 1 • Auto-catalítico - 1 • Conexões - 1 • Limite do caos ou instabilidade limitada - 1 • Importação de energia - 1 • Redes booleanas - 1 • Recombinação - 1 • Conectores - 1 • Conexões preferenciais - 1 • <i>Network</i> de escala - livre • <i>Hub</i> - 1 • Cluster - 1 • Pequenos mundos (<i>small worlds</i>) - 1 • Abordagem em multi-nível - 1 • Interdependência - 1
---	---

<ul style="list-style-type: none"> • Modelagem matemática ou computacional - 1 • Incerteza ou surpresa - 1 • Paradoxos ou conflitos - 1 • Destruição criativa – 1 	
Discussão sobre o tópico	
<p>Os termos comuns utilizados em todos os artigos, nos dois períodos, são: interações; não-linearidade ou dinâmica não-linear; rede ou <i>network</i> (adjetivadas de diferentes formas); auto-organização ou rede auto-organizada; emergência ou comportamento emergente; SAC; e de alguma forma está sempre presente a questão da dinâmica evolucionária.</p> <p>Percebe-se que a questão dos fractais e da teoria do caos perdem notoriedade enquanto questões evolucionistas ganham maior detalhamento. Também se observa que as ferramentas computacionais (autômatos celulares e algoritmos genéticos) são menos evocadas do que os resultados computacionais pelo seu uso, surgindo uma nova nomenclatura ligada a <i>networks</i> (conectores, <i>hub</i>, <i>small-worlds</i>, <i>free scale</i>, cluster etc.).</p>	

Tabela 18: Análise do tópico 6 dos artigos: ‘proposta de aplicação da complexidade à gestão’.

Tópico 6: Proposta de aplicação da complexidade à gestão	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
<p>Apesar dos artigos terem propostas distintas, havia nesse período uma abordagem mais ampla das contribuições relacionadas à complexidade, provavelmente com o intuito de associar essas características como presentes em sistemas organizacionais justificando a transposição dos conceitos.</p> <p>As organizações e redes de organizações são vistas como sistemas dinâmicos e complexos, auto-organizados e associados a estruturas dissipativas, que devem se manter no ‘limite do caos’ [longe do equilíbrio] e ter sua fonte de energia renovada por diferentes formas de acordo com cada papel</p>	<p>Os dois artigos analisados apresentam propostas distintas de relacionar complexidade à gestão: um está voltado para a questão do design organizacional e o outro para uma revisão crítica de resultados de pesquisa e o acompanhamento do desenvolvimento de um novo setor de negócio. Mas ambos possuem o discurso voltado para a questão de <i>networks</i>, a importância de análises em multi-níveis e de se adotar uma perspectiva evolucionista.</p> <p>Consideram não haver uma hierarquia de mudança entre os níveis de sistema, tal que mudanças em um nível podem ter taxas</p>

<p>dos <i>stakeholders</i>. Chega-se a afirmar literalmente que as organizações modernas são SACs por excelência, motivo pelo qual não se pode planejar seu futuro em longo prazo.</p> <p>Enfatizam a importância da abordagem de análise organizacional de sistemas em multi-nível, reforçando a idéia subjacente de uma hierarquia de sistemas.</p> <p>Chama-se a atenção para autonomia dos agentes organizacionais (indivíduos, grupos e organizações) e seu aprendizado, devido a interações internas e externas. Ressalta-se a importância das interações, mais do que os indivíduos, pois através delas há a maior possibilidade de emergência de padrões complexos de comportamento do sistema. Contudo, ressalta-se a importância de não estabelecer um esquema de conexões onde todos interagem com todos, pois isto comprometeria a capacidade de criação. Isso porque tal nível de conexão impediria de se manter a organização no limite do caos, onde ocorre mais inovação. Padrões podem ocorrer sem uma intenção definida, podendo ser até mesmo contrários a uma intenção, e ainda, pequenas ações pode levar a grandes resultados, operando de forma não-linear.</p> <p>Pela dinâmica organizacional longe do equilíbrio deve-se esperar encontrar paradoxos, contradições e conflitos nas organizações, principalmente na contraposição do sistema formal com o sistema informal de decisão.</p> <p>A dinâmica interacional, entre indivíduos e</p>	<p>superiores que em níveis mais baixos ou mais altos, e podem ocorrer tanto por fatores internos, inclusive de baixo para cima, como por fatores externos.</p> <p>Afirma que mudanças não lineares – como crises – provocam reações coletivas, como a formação de <i>networks</i> inter-organizacionais. Associa-se turbulência no ambiente organizacional como uma situação ‘longe do equilíbrio’.</p> <p>Afirma-se que o melhor desempenho organizacional tem sido alcançado quando se busca manter uma consistência interna, mesmo sacrificando o ajuste externo. E ainda, que não há uma estrutura ótima para um contexto ambiental específica, apesar de, contraditoriamente, considerarem que ao modelar a dinâmica co-evolutiva de sistemas, caso se encontre uma representação gráfica de pico único, esta seria uma situação de se procurar ‘melhores práticas universais’.</p> <p>Afirma que ao se modelar a evolução de sistemas, sob a perspectiva da co-evolução, o resultado tende a se assemelhar ao equilíbrio intervalado [relacionado à lei de potência $1/f$]. E que a dinâmica das organizações não está relacionada à busca de uma adaptação ótima, mas a um processo co-evolucionário mais complexo envolvendo recombinação.</p> <p>Consideram-se necessários mais estudos organizacionais sob a ótica da dinâmica não-linear de sistemas, que se enquadram em uma dinâmica caótica ou com equilíbrio</p>
--	---

<p>ambiente deve estar acima de metas pré-estabelecidas, reconhecendo-se a importância de soluções improvisadas e auto-organizadas mais do que planos formais, focando-se assim, mais a evolução do que a previsão; pondera-se em alguns momentos que essas abordagens podem se complementar. Assim, a evolução passa a ser uma característica fundamental dos sistemas, tal que ela deve ser considerada sob a ótica de recombinação, co-evolução e da lei de potência ($1/f$), que faz com que a dinâmica da evolução seja criticamente auto-organizada. E ainda, que a estrutura é uma propriedade emergente e que as regras de evolução não procuram maximizar os resultados das funções, apenas buscam melhorar o nível de desempenho de referência alcançado pela organização. Afirma-se que a estratégia pode seguir a estrutura.</p> <p>Sugere-se que unidades de negócio orientadas por poucas regras evoluem mais depressa.</p> <p>Coloca-se que a diversidade e alternância de prioridades das metas deve ser considerada como mais adequada à perspectiva evolutiva.</p> <p>Ponderam que sistemas de reconhecimento voltados para resultados de curto prazo são inadequados.</p> <p>De certo modo, existem cuidados para se propor diretamente a aplicação da teoria do caos na área organizacional, mas existe a proposta de associar fractais à abordagem de</p>	<p>intervalado. E ainda, que a literatura organizacional tem focado organizações em <i>network</i> e não <i>networks</i> se organizando, e as pesquisas realizadas na área organizacional estiveram sempre sujeitas a um pensamento linear dominante que busca tratar sistemas em equilíbrio.</p>
---	---

<p>multi-níveis. Surge a dúvida quanto à questão da quantidade de indivíduos necessários para uma organização ser considerada complexa, assim como a dúvida da validade de transposição de conceitos físicos ou biológicos, como estruturas dissipativas e auto-organização, e até mesmo resultados de modelagem computacional para a realidade organizacional. Apesar disso, há um consenso quanto à possibilidade da ‘complexidade’ proporcionar um aumento de enriquecimento conceitual e de recursos de modelagem para melhor compreensão de sistemas organizacionais.</p>	
<p style="text-align: center;">Discussão sobre o tópico</p>	
<p>No período até 1999, apesar de buscar considerar abordar a complexidade de uma forma mais ampla, o enfoque estava mais voltado para suas contribuições no nível organizacional, enquanto que no período após 2000 existe uma cautela ao abordar a complexidade; o enfoque se amplia incluindo <i>networks</i> organizacionais.</p> <p>Em ambos os períodos existe a tradição da teoria geral de sistemas em tratar hierarquicamente os sistemas, utilizando-se a denominação de abordagem em multi-níveis, porém começa haver um cuidado para não se associar hierarquia de níveis com hierarquia de complexidade. Percebe-se também, em ambos os períodos, a importância de se considerar a evolução de sistemas organizacionais com foco em uma dinâmica ‘longe do equilíbrio’ [estruturas dissipativas], envolvendo auto-organização, estado criticamente auto-organizado e co-evolução. Mas, se havia receios, até 1999, de explorar essa dinâmica com base na teoria do caos, a partir de 2000, apesar de haver citação da situação ‘longe do equilíbrio’ como sendo no ‘limite do caos’ e ‘dinâmica caótica’, não é feita nenhuma referência direta à teoria do caos e sua utilização.</p> <p>Há um consenso quanto a necessidades de mais pesquisas na área organizacional utilizando os conceitos relacionados à complexidade. Mas ressalta-se a necessidade de remodelar o pensamento para criar novas formas de conduzir as pesquisas, de modo que sejam mais adequadas à dinâmica organizacional não-linear longe do equilíbrio.</p>	

Tabela 19: Análise do tópico 7 dos artigos: ‘perspectiva futura da complexidade’.

Tópico 7: Perspectiva Futura da Complexidade	
Abordagem até 1999	Artigos depois de 2000
<p>Sugerem-se novas pesquisas utilizando-se a perspectiva de sistemas adaptativos complexos. Existem propostas para que essas novas pesquisas se baseiem tanto em modelagem computacional quanto em situações em contextos organizacionais, mas alerta-se que uma abordagem reducionista nas pesquisas pode gerar resultados equivocados.</p> <p>Conteúdos de pesquisa são sugeridos: como os sistemas de informação irão afetar as redes de interação; como os gestores deveriam se comportar em ambientes de incerteza; se o enfoque em planejamento pode ser uma defesa contra ansiedade; como os líderes afetam e são afetados pelas redes informais; qual a utilidade de se distinguir tática de estratégia.</p> <p>Considera-se ainda a necessidade de refinamento de certos conceitos da complexidade, tais como auto-organização e sistemas criticamente auto-organizados.</p> <p>Afirma-se que a ‘complexidade’ e as teorias organizacionais poderão co-evoluir.</p> <p>Prevê-se que a ‘complexidade’ deverá gerar uma onda de novas teorias de estratégia.</p>	<p>Acredita-se que suposições não-lineares, de desequilíbrio e modelos com base em SAC poderão ajudar a mapear situações de turbulência organizacional e também sugere-se uma nova pauta de pesquisa em design organizacional.</p>
Discussão sobre o tópico	
<p>Existe uma proposta de se utilizar SAC para estudo de turbulências organizacionais e a expectativa de influenciar a gestão estratégica. A perspectiva futura da complexidade de ambos os períodos está relacionada tanto à necessidade de novas pesquisas, envolvendo novos conteúdos (redes, estratégia, liderança e design organizacional), quanto a novos</p>	

métodos de pesquisa (baseados em perspectivas não-lineares e não-reducionistas), o que reflete ainda um caráter exploratório da aplicação desse tema na gestão. E por serem as organizações sistemas dinâmicos, que supostamente operam melhor longe do equilíbrio, a idéia de que ‘complexidade’ e teorias organizacionais podem co-evoluir torna-se bastante interessante.

Para finalizar esta seção será apresentado a seguir, com base na teoria de aprendizagem significativa, a proposta de um mapa conceitual dos conteúdos de todos os artigos apresentados, denominado “mapa conceitual da complexidade 1”, por se tratar de um mapa parcial para auxiliar na evolução da organização dos conceitos.

Por meio do mapa podemos, até o momento, ter uma proposta preliminar de como os conceitos utilizados pelos autores dos artigos poderiam estar relacionados. Mas estas relações podem ser melhoradas por meio de um maior entendimento da origem e definição operacional desses conceitos, inclusive com uma reflexão crítica relacionada à aplicabilidade desses conceitos a sistemas sociais, tais como os sistemas organizacionais produtivos. Essa última questão será objeto da 3ª e 4ª Parte do presente trabalho.

7. ESTUDO DE OUTRAS PUBLICAÇÕES QUE RELACIONAM COMPLEXIDADE À GESTÃO

O objetivo deste capítulo é de complementar a visão acadêmica relacionada ao tema, desenvolvida pelos *journals* internacionais, e ainda, chegar a um melhor entendimento da discussão do tema na realidade acadêmica do Brasil. Assim, procurou-se analisar o conteúdo de uma tese e uma dissertação que buscam relacionar complexidade à gestão, produzidas no âmbito nacional.

A metodologia de análise será a mesma adotada para os artigos, com uma abordagem mais sintética na análise de conteúdo codificada, em função da natureza das publicações apresentarem uma maior extensão.

7.1. Tese e dissertação

Os trabalhos foram selecionados por estarem entre os mais recentes daqueles identificados no estudo bibliométrico e por terem sido produzidos em uma Universidade de renome. Estão apresentados na tabela 20 abaixo.

Tabela 20: Tese e dissertação selecionadas para análise

Tipo	Título	Autor/Ano	Apêndice
Tese (FEA –USP)	Modelo de gestão não-linear: A teoria do caos e complexidade aplicada à gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis.	Estevão Anselmo, 2005	B
Dissertação (Poli –USP)	A organização de trabalho em grupos sob a perspectiva da complexidade – estudo de caso.	Luz Angelica Guio Torres, 2005	

Apresentação da tese: Modelo de gestão não-linear: A teoria do caos e complexidade aplicada à gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis.

O autor da tese apresenta no início uma definição única para teoria do caos e complexidade [que pode ser considerada apropriada apenas à teoria do caos], mas ao mesmo tempo apresenta uma seqüência organizada de conceitos que são classificados ou na teoria do caos ou na complexidade, independentemente. Ao realizar essa classificação se depara com dificuldades para lidar com conceitos que estão inter-relacionados, mas que foram classificados separadamente em cada tema (ex: níveis críticos e leis de potência). Outra dificuldade percebida foi como encaixar nesses dois temas (caos e complexidade) o conceito de “autopoiese”. Autopoiese foi explorada à parte, fugindo sutilmente do guarda-chuva “teoria do caos e complexidade”, mas dentro da classificação de conceito não-linear. Já a idéia de estrutura dissipativa, e seus fundamentos associados à contribuição de Prigogine, foram explorados dentro do conceito de auto-organização, associado à complexidade.

Também se considera que determinadas afirmações conclusivas envolvendo a teoria do caos e complexidade deveriam ser mais fundamentadas, em função do perigo de se apoiar em interpretações precipitadas, que tratam de casos específicos e não de regras gerais, ou por ainda envolverem discussões profundas no âmbito científico e filosófico (vide no Apêndice B, análise de conteúdo da tese, as afirmações no final do item 4 - ‘abordagem teórica da complexidade’).

Há de se encarar como natural a existência das dificuldades acima, pois o autor está lidando com um tema em desenvolvimento envolvendo múltiplas abordagens. A falta de uma organização geral de conceitos e de uma abordagem epistemológica já havia sido identificada como uma dificuldade para os acadêmicos estrangeiros lidarem com o tema. O que se observa também no trabalho é que ao utilizar o referencial teórico de contribuições literárias de autores da área organizacional que já se propuseram a explorar o tema complexidade, há o risco de se deparar com conclusões antagônicas e até com interpretações superficiais que podem amplificar distorções. Percebe-se

também, contrariamente às tendências dos artigos estrangeiros, uma afinidade maior com os conceitos relacionados à ‘teoria do caos’.

Tem-se que congratular o autor pela ousadia em explorar um tema tão controverso e beber em fontes alternativas às tradicionais, como nos pensamentos de Edgar Morin e da dupla chilena Humberto Maturana e Francisco Varela. Também merece reconhecimento a proposta de um modelo de gestão não-linear, a qual foi construída utilizando-se de idéias básicas ligadas ao desenvolvimento da complexidade relacionadas a outras áreas (física, biologia etc.) e da contribuição de autores do campo organizacional que já se propuseram a aplicar a complexidade à gestão.

Apresentação da dissertação: A organização de trabalho em grupos sob a perspectiva da complexidade – estudo de caso.

Interpretou-se que a autora utilizou, principalmente, de quatro diferentes referenciais conceituais para tratar a complexidade nas organizações: (1) princípios gerais do pensamento complexo, da proposta de Edgar Morin; (2) perspectivas da complexidade biológica, com base em Atlan (via citação de outro autor), Maturana e Varela; (3) contribuições de autores do campo organizacional que fizeram considerações gerais sobre a complexidade aplicada às organizações, em especial Ruben Bauer e Gareth Morgan; (4) e uma proposta específica da sócio-técnica revisada pela ótica da complexidade, de Pavard. Como essas abordagens podem tratar a complexidade de formas diferentes, dificultando sua referência, entende-se porque a autora cita: corrente de pensamento, pensamento complexo e teoria da complexidade como sendo termos praticamente equivalentes.

Ao lado dessas linhas explora a idéia de sistemas complexos com mais algumas contribuições, que muitas vezes se sobrepõem, sendo que não foi possível identificar com clareza o efetivo uso operacional das diversas contribuições citadas no material de pesquisa do estudo.

Existem diferentes abordagens evolutivas das teorias organizacionais, as quais não são naturalmente consistentes entre si e nem sempre são apresentadas de forma ordenada no trabalho, o que dificulta, depois da primeira referência evolutiva, estabelecer uma correlação da evolução com a perspectiva da complexidade.

Foi motivo de estranheza a autora não considerar como fonte de pesquisa o livro de Esteves (2003) que trata do mesmo tema, aplicando a perspectiva de sistemas complexos adaptativos à gestão autônoma envolvendo estudo de grupos de trabalho, também com estudo de caso brasileiro. Igualmente, ao considerar a perspectiva da complexidade aplicada aos postos de trabalho, sente-se falta da exploração do conceito de conhecimento tácito de Nonaka e Takeuchi (1997).

Talvez até pelo enfoque muito específico do trabalho, que está voltado para organização do trabalho em grupo no chão de fábrica, apesar de envolver vários termos relacionados à complexidade, alguns sem uma conceituação, entende-se que a contribuição maior esteve relacionada à questão da auto-organização, subordinada à escola sócio-técnica.

Percebe-se, novamente, que a falta de uma organização geral de conceitos e de uma abordagem epistemológica surgem como uma dificuldade para lidar com o tema. Da mesma forma que a tese analisada anteriormente, com exceção do uso das idéias de Morin, o referencial teórico para tratar a complexidade no campo organizacional baseou-se, predominantemente, em contribuições de autores da área organizacional que já se propuseram a interpretar e explorar o tema complexidade, o que gera o risco de se deparar com conclusões antagônicas e de interpretações superficiais que amplificam distorções.

É interessante considerar que a questão da complexidade é discutida de forma ampla, com base em Morin, antes de tratá-la relacionada ao seu objeto de estudo, o que representa a preocupação de um entendimento mais amplo da complexidade, em um sentido quase filosófico, antes de aplicá-la em uma realidade operacional. Há, assim, uma mensagem implícita de que a atividade do trabalho operacional deve ser

entendida dentro de uma perspectiva complexa, o que requer a necessidade de pensamento complexo, o que parece coerente com a idéia de Morin e Le Moigne (p. 45, 2000): “de fato não existe fenômeno simples”.

7.2. Discussão das publicações e Mapa conceitual [2] da complexidade

Será estabelecida uma análise por cada tópico, comparando a abordagem da Tese com a da Dissertação, seguida de uma discussão sobre o tópico. Para tanto, será feita uma síntese interpretativa. Nela serão selecionados os aspectos considerados relevantes, com a busca de fundamentos quando necessário, procurando-se consolidar suas complementaridades e identificar seus aspectos concorrentes e antagônicos. Essas análises e discussões estão apresentadas nas tabelas 21 a 27.

Após a discussão de todos os tópicos será apresentado um mapa conceitual preliminar, voltado para os conceitos relacionados à complexidade, baseado no conteúdo da tese e da dissertação.

Tabela 21: Análise do tópico 1 da Tese e da Dissertação: ‘definição da complexidade’.

Tópico 1: Definição da Complexidade	
Tese	Dissertação
O autor apresenta uma tendência em relacionar complexidade ao caos, tanto que a definição inicial da teoria do caos e complexidade é delimitada à clássica abordagem da teoria do caos. Associa caos e complexidade a fenômenos não-lineares.	A autora associa a complexidade a fenômenos não-lineares, com múltiplas variáveis com propriedades emergentes imprevisíveis.
Discussão sobre o tópico	
Apesar das dificuldades para lidar com a definição de complexidade e caos, pode-se afirmar que ambos consideram a complexidade relacionada a fenômenos não-lineares.	

Tabela 22: Análise do tópico 2 da Tese e da Dissertação: ‘Referência a uma teoria da complexidade’.

Tópico 2: Referência a uma teoria da complexidade	
Tese	Dissertação
Faz referência à complexidade.	Ao longo do texto utiliza-se de diferentes formas para abordar a complexidade:

	perspectiva da complexidade, princípios do pensamento complexo e teoria da complexidade.
Discussão sobre o tópico	
A complexidade é explorada sob várias denominações, mas surge a influência da proposta de Edgar Morin, a qual considera a importância do desenvolvimento do pensamento complexo.	

Tabela 23: Análise do tópico 3 da Tese e da Dissertação: ‘evolução da complexidade’.

Tópico 3: evolução da complexidade	
Tese	Dissertação
Considera sua origem na física e na biologia. Utiliza como principal referência a proposta de evolução de Morgan para tratar os modelos clássicos de gestão (abordagem mecanicista e organicista), afirmando que esses partem de uma visão linear, e que atualmente está se consolidando a necessidade modelos não-lineares.	Baseia-se em Bauer, que apresenta abordagem inspirada em Morgan, que trata a evolução da administração em três estágios: mecanicista, organicista e o atual, que está relacionado a comportamentos complexos não-lineares. Entende que a complexidade se aproxima da gestão pela teoria de sistemas e que a teoria da complexidade é uma evolução daquela. Considera que a evolução das abordagens de gestão deve considerar atualmente o desenvolvimento organizacional e a realidade do trabalho como um fenômeno complexo.
Discussão sobre o tópico	
A abordagem evolutiva da complexidade está voltada, principalmente, para sua aplicação na administração. Assim, a complexidade surge como uma necessidade atual de se desenvolver modelos de gestão não-lineares. A referência que estabelece seus primórdios na administração é a teoria de sistemas, que não contemplou adequadamente o desenvolvimento de modelos não-lineares. A citação de suas origens fundamentais limitada à física e biologia parece insuficiente para o estabelecimento da relação da complexidade com a teoria do caos, cujo desenvolvimento	

parte da matemática. E ainda, ignora-se as contribuições das simulações computacionais com autônomos celulares, algoritmos genéticos e redes neurais.

Tabela 24: Análise do tópico 4 da Tese e da Dissertação: ‘Abordagem teórica da complexidade’.

Tópico 4: Abordagem teórica da complexidade	
Tese	Dissertação
<p>Apesar de o autor tratar separadamente a teoria do caos da complexidade, percebe-se a dificuldade de lidar com conceitos que seriam comuns às duas abordagens (ex: níveis de criticalidade), e outros que o autor não soube como relacionar à sua classificação (autopoiese, que explora e faz referência a Maturana e Varela).</p> <p>É interessante observar que as contribuições de Prigogine, relacionadas às estruturas dissipativas, aparece subordinada ao conceito de auto-organização.</p> <p>A complexidade, apesar da referência ao <i>Santa Fe Institute</i>, aparenta estar relacionada apenas a fenômenos biológicos, praticamente não aborda as contribuições relacionadas à modelagem computacional decorrentes desse Instituto, principalmente referente a <i>networks</i>.</p> <p>Cita, numa diminuta passagem, pensamentos de Edgar Morin.</p>	<p>A autora afirma categoricamente que a abordagem de sistemas complexos é a melhor abordagem para compreender grupos de trabalhos (considerados como sistemas complexos), mas as abordagens de maior profundidade na sua fundamentação teórica estão voltadas para os princípios do pensamento complexo (de Edgar Morin) e autopoiese (de Maturana e Varela).</p> <p>Não se identificou citações relacionadas às idéias de Prigogine.</p> <p>Apresenta diversos conceitos sem uma definição adequada dos mesmos.</p> <p>Ao abordar a relação do sistema e seu ambiente apresenta idéias relacionadas à Co-evolução mas não apresenta esse conceito.</p> <p>Baseia-se muito nas argumentações de Bauer, que apresenta uma interpretação das idéias originais relacionadas à complexidade. A autora encanta-se com a idéia de <i>order from noise</i>, mas apesar de se propor a explorar o conceito, no seu estudo não fica clara a exploração conceitual e o tratamento operacional desse no objeto de estudo.</p> <p>Explora a questão de redes informais;</p>

	entretanto, por não se aprofundar nas contribuições relacionadas à modelagem computacional, principalmente nas contribuições referentes a <i>networks</i> , traz afirmações que podem ser mais fruto do pensamento tradicional em administração do que oriundas de conhecimentos relacionados ao estudo de sistemas complexos.
Discussão sobre o tópico	
<p>Existe a preocupação, de um lado, em apresentar conceitos relacionados ao caos e à complexidade, dentro de um esquema classificatório e com explicações e discussões sobre os mesmos, do outro lado essa preocupação nem sempre esteve presente e certos conceitos foram apenas colocados sem maiores explicações.</p> <p>De um lado observa-se a influência de Gleick e a questão do caos, do outro predominam em um primeiro instante as idéias de Morin e de sua proposta de pensamento complexo.</p> <p>Mesmo quando abordada a questão de sistemas complexos adaptativos ou de redes informais, em ambos estudos, praticamente, não se explorou contribuições relacionadas a simulações computacionais explorando o comportamento de <i>networks</i>.</p> <p>Temos a presença em ambos os trabalhos de idéias de Morin, Maturana e Varela, o que demonstra a influência destes nos pesquisadores brasileiros. Quanto às contribuições de Prigogine, não ganham um papel de destaque.</p>	

Tabela 25: Análise do tópico 5 da Tese e da Dissertação: ‘Principais termos relacionados à complexidade’.

Tópico 5: Principais termos relacionados à complexidade	
Tese	Dissertação
<ul style="list-style-type: none"> • Não-linearidade • Emergência – propriedades emergentes • Sistemas complexos • Auto-organização • Interações • Feedback (negativo e positivo) • Dinâmica do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Não-linearidade • Emergência • Sistemas complexos • Auto-organização • Interações • Retro-alimentação (feedback) • Dinâmica de sistemas

<ul style="list-style-type: none"> • Limite do caos • Autopoiese • Teoria do caos • Complexidade • Comportamentos instáveis e não-periódicos • Sistemas dinâmicos determinísticos • Equações logísticas [ou funções logísticas] • Dependência sensível às condições iniciais • Níveis críticos [criticalidade auto-organizada] • Espaço de fase • Atratores • Atratores estranhos • Fractal • Sistemas Adaptativos Complexos (SAC) • Agentes • Múltiplos níveis • Equilíbrio dinâmico • Co-evolução • Leis de potência • Regras simples • Metáforas • Intuição • Autonomia • Auto-organização de equipes • Negociação • Redundância • Cooperação • Diversidade • Caos criativo • Senso de urgência 	<ul style="list-style-type: none"> • Limite do caos • Autopoiese • Teoria do caos • Propriedades globais • Comportamentos complexos • Muitas partes interagindo • Perspectiva da complexidade • Princípios do pensamento complexo • Teoria da complexidade • Teoria de Sistemas • Circularidade recursiva • Mudança de paradigma • Paradigma da complexidade • Relações antagônicas, complementares e concorrentes • Autonomia • Auto-produção • Ordem e desordem • Causalidade complexa • Atraso • Interferência • Desvios • Sinergia • Aleatoriedade • Distinção e não separação • Inclusão do observador • Datação cultural, sociológica e histórica • Dialógica • Adaptabilidade • Aprendizagem • Evolução • Possuem propósito, função, tamanho, configuração e tipo de dinâmica • Provê, armazena e consome energia
--	--

<ul style="list-style-type: none"> • Ambigüidades • Flexibilidade estratégica • Estruturas dissipativas • Distúrbio do equilíbrio • <i>Patching</i> • Inovação • Mecanismos mais descentralizados • Especificações mínimas 	<ul style="list-style-type: none"> • Simples e complexo são complementares • Entre o determinado e o casual • Falta de previsibilidade • Probabilidade • <i>Order from noise</i> • <i>Order from fluctuations</i> • Não determinismo • Decomposição funcional limitada • Caráter distributivo das informações
Discussão sobre o tópico	
<p>Os termos comuns relacionados à complexidade são: Não-linearidade; Emergência; Sistemas complexos; Auto-organização; Interações; Feedback; Dinâmica do sistema; Limite do caos; Autopoiese; Teoria do caos - apesar de que, na dissertação a teoria do caos é apenas citada e não possui seu conteúdo explorado.</p> <p>Percebe-se a quantidade diferenciada de termos, pois enquanto a tese explorou fundamentos da complexidade nas ciências físicas e biológicas, e ainda, abordagens amplas de aplicação da complexidade à gestão, a dissertação voltou-se para discussão do pensamento complexo e algumas idéias de complexidade relacionadas à escola sócio-técnica.</p>	

Tabela 26: Análise do tópico 6 da Tese e da Dissertação: ‘proposta de aplicação da complexidade à gestão’.

Tópico 6: Proposta de aplicação da complexidade à gestão	
Tese	Dissertação
<p>Apresenta uma proposta de um modelo de gestão não-linear, a qual relaciona a cada subsistema organizacional definido, um conjunto de aspectos não-lineares a serem observados na prática, fundamentados nos conceitos básicos da teoria do caos e complexidade, e nas contribuições de autores do campo organizacional que abordaram estes sub-sistemas sob a ótica da complexidade.</p> <p>Conclui, com base em estudo de campo, que</p>	<p>A idéia principal está relacionada ao tratamento de grupos de trabalho como sistemas complexos. Assim, a idéia da autora é partir das contribuições da escola sócio-técnica para o estudo de grupos, complementando com a abordagem do pensamento complexo e de sistemas complexos. Posiciona a atividade de trabalho, no nível de grupo de trabalho, como um fenômeno complexo que requer perspectivas e contextualizações mais</p>

<p>as empresas cujas práticas de gestão mais se aproximaram do modelo de gestão não-linear proposto, apresentaram melhor desempenho [de faturamento de vendas].</p>	<p>amplas. Apesar das diversas citações de conceitos relacionados à complexidade, não conseguiu-se perceber como todos eles se integraram operacionalmente ao objeto de estudo de caso, exceto quando utiliza, após a realização da pesquisa de campo, de uma análise dos resultados envolvendo quatro elementos selecionados, ditos como relacionados à teoria da complexidade: (1) auto-organização; (2) Identidade; (3) Auto-produção; e (4) Ordem-desordem.</p> <p>Identifica dificuldades de ligação entre os grupos de trabalho.</p>
<p>Discussão sobre o tópico</p>	
<p>Em um dos estudos, a aplicação da complexidade à gestão envolve um processo de exploração de idéias fundamentais da complexidade ligadas, segundo o autor, à física e biologia, e do aproveitamento de propostas de autores organizacionais que já exploram a complexidade na gestão. Desta forma surge a proposta de um modelo de gestão não-linear. Já no outro estudo, a discussão maior da complexidade parece pretender contribuir para o reconhecimento da atividade de trabalho, no nível grupal, como um fenômeno complexo; mas nessa abordagem houve dificuldade de exploração e operacionalização dos diversos termos apresentados como relacionados à complexidade. Na prática a condução da pesquisa de campo da dissertação pareceu permanecer calcada principalmente sobre os princípios sócio-técnicos, utilizando-se apenas alguns conceitos selecionados relacionados à complexidade para análise dos resultados. É interessante observar que nessa pesquisa a identificação da dificuldade prática de ligação entre os grupos poderia ser tratada pela luz dos estudos da complexidade relacionados à <i>networks</i>.</p>	

Tabela 27: Análise do tópico 7 da Tese e da Dissertação: ‘perspectiva futura da complexidade’.

Tópico 7: Perspectiva futura da complexidade	
Tese	Dissertação
Sugere questões, método e temas para novas pesquisas. Conclui que, como os ambientes futuros se tornarão mais imprevisíveis, aprofundar no estudo da teoria do caos e da complexidade no campo da administração é um caminho válido	Relativo aos grupos de trabalho, considera que os temas auto-organização e autonomia podem ser explorados em trabalhos futuros.
Discussão sobre o tópico	
Há um consenso quanto à necessidade de mais pesquisas relacionadas ao tema, com especial atenção, em um dos estudos, à auto-organização.	

Tal como na seção anterior, será apresentada a seguir, a proposta de um mapa conceitual com base no conteúdo da tese e da dissertação, denominado “mapa conceitual da complexidade 2”, por se tratar também de um mapa parcial.

Por meio do mapa podemos ter uma proposta de como os conceitos utilizados pelos autores da tese e da dissertação, com foco na complexidade, poderiam estar relacionados. O foco está voltado para os conceitos da complexidade apropriados pelos autores, e não como são traduzidos no campo organizacional. Estas relações podem ser melhoradas por meio de um maior entendimento da origem histórica desses conceitos e definição operacional dos mesmos, questão que será objeto da 3ª Parte do presente trabalho.

8. DISCUSSÃO GERAL DA EVOLUÇÃO DA GESTÃO, DOS ARTIGOS, TESE E DISSERTAÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar uma síntese geral dos principais aspectos dos capítulos 5, 6 e 7, e avaliar a validade da primeira proposição.

No capítulo 5, que trata da evolução da gestão do ponto de vista acadêmico clássico, pode-se observar o desenvolvimento contínuo de novas escolas de pensamento na história da Administração. A organização das escolas se encontra hoje subordinada, principalmente, ao reconhecimento de uma teoria, ou modelo, pelo pensamento administrativo ocidental, em especial nos EUA. Como a discussão sobre a complexidade tem seu principal berço nos EUA e Europa, é possível que o reconhecimento amplo de contribuições no campo organizacional, caso ocorra, seja mais rápido do que o da escola da qualidade, que se originou no Japão nos anos de 1950 e teve seu reconhecimento no ocidente como escola de pensamento administrativo dominante somente por volta dos anos de 1980.

No desenvolvimento das escolas de pensamento em Administração, a Teoria Geral de Sistemas passa a ter uma grande influência nas contribuições a ela paralelas e subseqüentes, tal que termos e conceitos oriundos dela encontram-se presentes na maioria dos discursos atuais da área da administração, a despeito das críticas que a condenam por não haver conseguido avançar na exploração de questões não-lineares. Assim, entende-se como necessário que qualquer proposta de uma nova tendência em gestão, como seria a da complexidade, se posicione em relação à Teoria Geral de Sistemas.

Apesar da discussão sobre a teoria do caos e da complexidade já ocorrer no campo da Administração Geral, parece haver um receio de incorporá-las de forma generalizada nos livros clássicos de Administração Geral. Talvez por se julgar cedo assegurar um lugar na história da Administração de algo que possa se tornar uma moda passageira; talvez pela dificuldade de abordar os conceitos e aplicações relacionados a esse assunto.

A tendência de se abordar aprendizagem organizacional e o conceito de redes nas propostas mais atuais de gestão, alinha-se com questões relacionadas a sistemas adaptativos complexos, exploradas pelas ciências da complexidade. Isso pode sugerir tais abordagens organizacionais tiveram, desde seu nascimento, uma relação recorrente com novos discursos provenientes de perspectivas da complexidade, mesmo que implicitamente.

Apesar de não citarem diretamente caos ou complexidade, os livros de Administração de Produção ressaltam o enfoque da gestão da cadeia de suprimento, gestão ambiental, sistemas inteligentes e a influência da *web* – ao considerar a importância do comércio eletrônico.

Seja como for, a discussão sobre redes e meio ambiente tem, por trás de si, a idéia de relações complexas, que sempre envolveram indivíduos, organizações sociais e o ambiente sócio-econômico. Na evolução dessa discussão torna-se premente a necessidade de um pensamento mais complexo para tratar os desafios organizacionais, relacionando-os de maneira profunda a questões humanas e ambientais.

Quanto às contribuições dos artigos internacionais, percebe-se uma tendência crescente de explorar a complexidade no campo organizacional com base em SAC e na dinâmica de redes (*networks*) desenvolvidas em computadores. Ao mesmo tempo, observa-se que Caos, Fractais – e, em parte, as Estruturas Dissipativas –, passam a ser menos exploradas como referência para tratar a dinâmica organizacional. Temas constantes em todos os artigos são: dinâmica evolucionária; auto-organização; emergência, co-evolução e leis de potência.

Quanto às contribuições acadêmicas nacionais, em linhas gerais percebe-se que ao lado de abordagens amplas que tentam ainda posicionar conceitos originários da teoria do caos e aspectos introdutórios do que seria uma teoria da complexidade – mas nem sempre com aprofundamento dos conceitos envolvidos com os termos citados –, está a idéia de explorar o pensamento complexo de Edgar Morin no campo

organizacional e o conceito de autopoiese de Maturana e Varela. As contribuições nacionais analisadas apresentam-se distantes da abordagem de redes (*networks*), a qual está sendo objeto do enfoque atual dos artigos acadêmicos internacionais. Observou-se, ainda, que existe pouco aprofundamento na exploração do conceito de SAC. Tal como nos artigos internacionais, estão presentes na produção acadêmica nacional analisada os seguintes temas: dinâmica evolucionária; auto-organização; emergência e, em parte, co-evolução e leis de potência.

É interessante observar que os artigos internacionais iniciam suas explorações no campo organizacional com enfoque intra-organizacional e evoluem para incorporação de dinâmicas inter-organizacionais, enquanto que nos trabalhos da academia brasileira verificou-se estar presente – ainda – apenas o enfoque intra-organizacional na exploração da complexidade.

A tabela 28 (Síntese comparativa de todas as contribuições acadêmicas analisadas), à frente, apresenta uma visão comparativa dos principais elementos do conteúdo de cada tópico dos artigos internacionais (até 1999 e após 2000) e da produção nacional.

Observou-se nos trabalhos analisados, tanto internacionais quanto nacionais, dificuldades para lidar com os conceitos da complexidade, possivelmente em função das ausências de uma organização de referência desses conceitos e de uma abordagem epistemológica mais aprofundada.

Com base nos capítulos anteriores, entende-se como válida a proposição que “diante da efemeridade de modelos de gestão, já existe a busca de conceitos da complexidade para proposição de novos modelos e práticas de gestão, mesmo sem uma organização geral e uma orientação unificada”.

Tabela 28: Síntese comparativa de todas as contribuições acadêmicas analisadas

	Academia Internacional		Academia Nacional
	Até 1999	Depois de 2000	Depois de 2000
1. Definição da Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Dinâmica não-linear - Quantidade de elementos interagindo - Comportamento de sistemas complexos - Propriedades emergentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Dinâmica não-linear - Quantidade de elementos interagindo - Emergência em múltiplos níveis 	<ul style="list-style-type: none"> - Dinâmica não-linear - Quantidade de elementos interagindo
2. Referência à teoria da Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Teoria da complexidade - Ciência da complexidade - Teoria de Sistemas complexos - Perspectiva da complexidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Perspectiva da complexidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Perspectiva da complexidade - Teoria da complexidade - Princípios da complexidade
3. Evolução da Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Contraponto à abordagem mecanicista, e em parte ao darwinismo - Origem na física, matemática, biologia, linguística e computação - Evolução da abordagem sistêmica 	<ul style="list-style-type: none"> - Contraponto à realidade linear (uma das características da abordagem mecanicista) 	<ul style="list-style-type: none"> - Foco em propostas de evolução do campo organizacional - Evolução da abordagem sistêmica - Origem na biologia e física
4. Abordagem Teórica da Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Aborda o Caos, Fractais e estruturas dissipativas, mas dá preferência ao estudo de SAC e introduz a idéia de rede 	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoca o estudo de SAC, e explora os conceitos relacionados à dinâmica de redes (<i>networks</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - Teoria do caos e aspectos gerais da teoria da complexidade (sem explorar <i>networks</i>) - Pensamento Complexo
5. Principais termos relacionados à Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Os termos comuns utilizados em todos os artigos, nos dois períodos, são: interações; não-linearidade ou dinâmica não-linear; rede ou <i>network</i>; auto-organização; emergência ou comportamento emergente; Criticalidade auto-organizada e Lei de potência; SAC; e está sempre presente a dinâmica evolucionária principalmente com base no modelo de Kauffman (explorando a idéia de co-evolução). 	<ul style="list-style-type: none"> - Perdem notoriedade os fractais, e em certo sentido a teoria do Caos, enquanto questões evolucionistas ganham maior detalhamento - Foco nos resultados de dinâmicas computacionais, surgindo uma nova nomenclatura ligada à <i>networks</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Os termos comuns relacionados à complexidade são: Não-linearidade; Emergência; Sistemas complexos; Auto-organização; Interações; Feedback; Dinâmica do sistema; Limite do caos; Autopoiese; Teoria do caos. Surgem termos relacionados ao pensamento complexo (ex: princípios da complexidade e paradigma da complexidade). - Lei de Potência e coevolução apenas na tese.
	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de termos relacionados com teoria do Caos e Fractais - Ressaltam-se ferramentas computacionais (ex: autômatos celulares e algoritmos genéticos) 		
6. Proposta da aplicação da Complexidade à gestão	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidades de análises em multiníveis - Abordagem mais ampla das organizações como SAC, incluindo idéias de estruturas dissipativas, co-evolução e lei de potência - Foco na dinâmica intra-organizacional e em especial na estratégia 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidades de análises em multiníveis e com foco em <i>networks</i> - Aplicações específicas do conceito de SAC, uso de idéias de estruturas dissipativas (indiretamente), co-evolução e lei de potência - Foco na dinâmica de redes intra/inter organizac. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parâmetros que definem um modelo de gestão não-linear - Aplicação específica: Grupos de trabalho - Foco na dinâmica intra-organizacional
7. Perspectiva futura da Complexidade	<ul style="list-style-type: none"> - Muita Influência no pensamento estratégico - Refinar o conceito de auto-organização - Co-evolução da complexidade e T.O. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de SAC para estudo de turbulências organizacionais 	<ul style="list-style-type: none"> - Aprofundar o estudo da teoria do caos e complexidade, em especial o conceito de auto-organização

3ª PARTE – DESENVOLVIMENTO DAS PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE

9. O PARADIGMA SIMPLIFICADOR DO MECANICISMO E SUA FASE DE TRANSIÇÃO

Introdução

O objetivo deste capítulo é promover um entendimento do desenvolvimento histórico da perspectiva científica no pensamento moderno ocidental, iniciada em torno do século XVII, que levou à consolidação de um paradigma mecanicista. Entende-se que, sem o conhecimento histórico das questões científicas, seria difícil uma compreensão e discussão sobre como novos conhecimentos relacionados à ciência podem afetar o desenvolvimento do conhecimento e pensamento atual em todos os campos, inclusive na gestão de sistemas produtivos.

Sabe-se que o desenrolar dos acontecimentos históricos envolve uma diversidade de fatos simultâneos com múltiplos agentes em diferentes espaços, com uma multiplicidade de inter-relações que ligam cada momento do presente a acontecimentos do passado e tornam a apreensão em sua totalidade uma tarefa sobre-humana.

Dessa forma, longe da pretensão de se realizar um tratado de história, busca-se neste capítulo apresentar contribuições cujos conteúdos permitam estabelecer uma consciência histórica do desenvolvimento da abordagem científica no pensamento moderno da humanidade. Ou seja, procura-se caracterizar certos aspectos considerados significativos do processo que levou à legitimação científica do conhecimento, e ainda, de que maneira a introdução de novas perspectivas na visão científica podem levar a uma mudança de paradigma que possa alterar a visão de mundo e a construção ideológica do pensamento nas suas diversas áreas, inclusive no que se relaciona aos modelos de gestão.

Nascimento da abordagem científica moderna (clássica)

Baseado em Braga, Guerra e Reis (2004, p. 18 a 33), considera-se que houve o desenvolvimento de um conjunto de dimensões abstratas que permearam a Europa a partir do séc. XV, o qual colaborou para criação de um ambiente propício ao raciocínio teórico e, conseqüentemente, a uma produção intelectual diferenciada. Entre essas dimensões abstratas²² estão:

- A retomada do uso do dinheiro, que trás uma dimensão simbólica e a necessidade de cálculos matemáticos;
- A disseminação do uso da matemática - aritmética e geometria euclidiana - em aplicações práticas produtivas;
- Realizações construtivas mecânicas, que misturavam trabalho técnico e artístico, por especialistas fora da academia, os quais propiciaram um enorme avanço na mecânica prática;
- O uso de mecanismos de medição do tempo, diminuindo a dependência da observação direta do sol e das estrelas;
- O desenvolvimento de novos instrumentos e informações para navegação marítima;
- As descobertas de novas perspectivas globais, por meio da descoberta de Novos Mundos.

“A ciência moderna não surgiu na Europa por acaso. Ao longo dos séculos XV, XVI e XVII, eclodiram no continente diversos movimentos que apontavam na direção de uma sociedade diferente daquela que existira durante os quase mil anos da Idade Média” (*ibidem*, p. 17).

“O século XVI de nossa era assistiu à ruptura do cristianismo ocidental e à ascensão da ciência moderna²³” (Whitehead, 2006, p. 13). Conforme Butterfield (2003, p. 9 e

²² Essas dimensões serão retomadas no final deste capítulo para comparação com a situação contemporânea.

²³ “O uso que hoje fazemos da palavra *ciência* foi cunhado no século XIX e, estritamente falando, *ciência* no nosso sentido era algo que não existia no período moderno inicial... Havia algo chamado

10), na Europa por volta dos séculos XVI e XVII ocorre a chamada primeira Revolução Científica, que:

“... conduziu não apenas ao eclipse da filosofia escolástica, mas também à destruição da física aristotélica – tal revolução excede em brilho tudo que tinha acontecido desde o aparecimento do Cristianismo e reduz o Renascimento e a Reforma à categoria de simples episódios, meras mudanças internas, no contexto da cristandade medieval. Uma vez que essa revolução mudou o caráter das operações mentais ao mesmo tempo que transformou todo o diagrama do universo material e a própria textura da vida humana, o seu alcance é tão grande que a transforma na própria origem do mundo moderno e da sua mentalidade...”

Assim, “não podemos entender a Revolução Científica restrita a questões da ciência; ela refletia e influía na mudança de uma visão de mundo e na organização da sociedade” (Rosa, 2005, p. 118 e 119)

O impacto dessa nova abordagem da realidade também é ressaltado por Whitehead, (2006, p. 15): “a nova mentalidade é mais importante também que a nova ciência e a nova tecnologia. Ela mudou os pressupostos metafísicos e os conteúdos imaginativos de nossa mente; como resultado o antigo estímulo provoca uma nova resposta”.

Whitehead (*ibidem*, p. 15) ainda enfatiza a principal diferença entre a ciência e os demais movimentos europeus contemporâneos a ela, que é a sua universalidade: “a ciência moderna nasceu na Europa, mas sua casa é o mundo inteiro”. Essa universalidade possivelmente deve-se à formalização do ‘método científico’.

É interessante observar que o desenvolvimento da ciência se dá em um contexto globalizante, devido aos descobrimentos marítimos dos séc. XV e XVI. Conforme o historiador holandês Ryer Hooykaas (*in* Soares, 2001, p. 18) as viagens dos

filosofia natural que pretendia descrever e explicar o sistema do mundo em sua totalidade” (Henry, 1998, p. 15 e 16)

descobrimientos marítimos derrubaram mitos e lendas consagrados pela cultura medieval e possibilitaram a “abertura do globo intelectual”, que levou muitos pensadores a repensar a própria idéia do universo.

De acordo com Soares (2001, p. 17), o surgimento da ciência “correspondeu a um processo de mudança gradual e geral do clima intelectual e cultural da Europa Ocidental”. O período entre os anos 1400 e 1600 foi bastante conturbado (baseado em Gasset, 1989, p. 25), e é no meio disso que surge a ciência. Conforme A. Rupert Hall (*in* Soares, 2001, p. 18) o séc. XVII estabelece-se como um marco de referência para o término de um período de confusão – do ponto de vista de modelos de conhecimentos – “com a criação de uma nova ciência e a adoção de uma perspectiva racionalista²⁴ e mecanicista²⁵ para o conhecimento da natureza”.

A ciência, no seu sentido clássico, nasce com o propósito de descobrir a verdade absoluta da natureza, a ordem por detrás dos fenômenos. Conforme Whitehead, (2006, p. 15) “não pode haver ciência sem que haja uma ampla convicção instintiva da existência de uma ordem da natureza”. Mas apesar de até esse ponto o propósito da ciência se assemelhar com o da filosofia grega²⁶, entre os principais elementos de diferenciação que surgem estão a valorização do método experimental (e conseqüentemente do empirismo), a busca da causalidade física (mecanicismo como princípio diretivo da pesquisa científica) e o uso da análise matemática para explicar – e de certa forma, prever – os fenômenos da natureza (determinismo matemático).

Em uma avaliação retrospectiva, sabe-se que a física, em especial a mecânica, foi a porta de entrada da ciência clássica. Assim, a construção da ciência clássica está

²⁴ Entende-se aqui a palavra racionalista com o enfoque no uso da razão ao invés de aceitação inquestionável de dogmas e também do racionalismo no seu sentido radical, que despreza o empirismo.

²⁵ Com base em Bunge (2006, p. 238), entende-se no sentido de uma cosmovisão científica, ou seja, como uma concepção filosófica do mundo. Nas palavras de Abbagnano (2007, p. 755 e 756) “não foi apenas um princípio diretivo da física: a partir do séc. XVIII também foi o princípio diretivo de todas as outras ciências naturais, inclusive da biologia, da psicologia e da sociologia [...] as teses do mecanicismo nos vários campos da ciência são reducionistas”.

²⁶ O que se justifica até certo ponto pela retomada original dos pensamentos dos antigos gregos em contraposição com o dogmatismo da igreja.

envolvida com diversos colaboradores relacionados, direta ou indiretamente, ao estudo da física e do próprio método de estudo.

A figura 18 apresenta uma linha do tempo²⁷ com os principais colaboradores no desenvolvimento da Mecânica Clássica.

Apenas como referência, nessa figura os colaboradores são agrupados em dois tipos: um mais voltado para explicações científicas de fenômenos e outro mais voltado para a filosofia da ciência – apesar de saber-se que certos autores entendem que nas situações de crise de paradigma “cientistas revolucionários se confundem com filósofos...” (Rosa, 2005, p. 17).

Fig. 18: Linha do tempo do desenvolvimento da Mecânica Clássica

²⁷ Esta forma de apresentação foi inspirada na apresentação de uma linha do tempo na obra de Guerra *et al* (1997, p. 50 e 51)

Tomando os pensadores citados na figura 18 será apresentado na tabela 29, a seguir, uma síntese do papel de cada um na construção dos alicerces da ciência clássica e suas principais contribuições.

Tabela 29: Contribuições para construção da mecânica clássica

Colaborador	Contribuição para a construção da Mecânica Clássica
<i>Leonardo da Vinci</i>	Apesar da polêmica quanto Leonardo ser ou não um homem da ciência (baseado em Rossi, 1992, p. 52 a 54 e Thuillier, 1994, p. 90, 91 e 97), e independente de estar voltado mais para a práxis, por trás de suas idéias engenhosas existe um referencial mecanicista, bastante matematizado, utilizado na construção de sistemas físicos mais “complexos”, aos olhos da época. Assim, se ele não foi um precursor da ciência moderna pode ser considerado um dos edificadores da visão mecanicista que esta ciência consolida, o que sugere que técnica e ciência co-evoluem.
<i>Nicolau Copérnico</i>	Apesar de suas argumentações heliocêntricas tornarem-se amplamente conhecidas apenas muitos anos após sua morte (principalmente com o aperfeiçoamento matemático dado por Kepler), sua proposta altera a visão do mundo e gera profundas implicações no surgimento da ciência moderna (baseado em Rosa 2005, p.117, Simaan e Fontaine, 2003, p. 138, Gottschall, 2004, p. 146). Apesar de romper com a visão geocêntrica, com base no modelo de Ptolomeu, a idéia platônica de movimentos circulares é mantida, tal que a ordem e o equilíbrio, de forma simples, ainda permanecem estabelecidos.
<i>Tycho Brahe</i>	Era um observador detalhista do céu, introduzindo a noção de rigor e erro na ciência (baseado em Gottschall, 2004, p. 147). Observou fenômenos além dos esperados ‘movimentos circulares’ dos planetas, tais como o surgimento de uma “nova estrela” e de um cometa, passando a considerar uma desordem dentro da ordem existente no céu, tornando necessárias novas teorias para esclarecer uma ‘nova ordem’ que estaria oculta (baseado em Simaan e Fontaine, 2003, p. 151 e 152, Gribbin, 2005, p. 59 a 64). Com o intuito de manter a terra fixa criou um modelo geo-heliocêntrico, no qual os planetas giravam em torno do sol e todo o conjunto em torno da terra. O que aparentemente parece ser um retrocesso, na realidade era um prenúncio de uma concepção contemporânea, na qual o

	<p>sistema planetário é acêntrico, tal que a descrição dos movimentos pode ser feita a partir de um posto de observação qualquer (baseado em Levy-Leblond, 2004, p. 34 e 35). Pode-se considerar o modelo proposto de Tycho uma verdadeira manifestação da proposta do princípio de dialógica do pensamento complexo de Edgar Morin, onde propostas aparentemente antagônicas (geo e helio-centrismo) podem ser complementares, sem perder suas diferenciações. Tal pensamento complexo, mesmo sem a intenção estruturada de sê-lo, não teve grande repercussão na construção da ciência moderna; veja-se que Galileu sequer se referiu a ele na discussão de seus sistemas de mundo – que se limitavam à oposição entre os sistemas geo e heliocêntrico.</p>
<i>Johannes Keppler</i>	<p>Baseado em Copérnico e tendo acesso a 20 anos de registros de Tycho Brahe, apresentou sua proposta heliocêntrica com movimentos elípticos matematicamente descritos (baseado em Gribbin, 2005, p. 66 a 81). Para ele “a tese Pitagórica de que a matemática era a chave da compreensão do universo foi triunfalmente comprovada...” (Tarnas, 1999, p. 280).</p>
<i>Galileu Galilei</i>	<p>Contemporâneo de Kepler, parece não ter dado importância às suas descobertas, mas defendia as idéias de Copérnico. Questionava tanto o modelo supralunar perfeito de Aritóteles quanto suas explicações para os movimentos dos corpos no mundo supralunar (Terra). Desenvolveu o método científico e suas demonstrações no mundo terrestre, com o enfoque mecanicista e matematizado (baseado em Gribbin, 2005, p. 102 a 114, Simaan e Fontaine 2003, p. 217 e 227).</p>
<i>Francis Bacon</i>	<p>“Se Galileu foi quem realizou a revolução científica na modernidade, Francis Bacon e Renée Descartes foram seus profetas” (Japiassu, 1997, p. 83). Com a intenção de libertar a filosofia da subordinação da fé, Bacon “proclama o nascimento de uma nova era em que as ciências naturais trariam ao homem uma redenção material que acompanharia seu progresso espiritual para seu milênio cristão” (Tarnas, 1999, p. 295), estabelecendo-se como referencial para defesa filosófica do experimentalismo com uso do método indutivo.</p>
<i>René Descartes</i>	<p>Um grande matemático que acreditava num mundo regido por fenômenos mecânicos e leis matemáticas precisas, era dotado de um grande ceticismo, tal que, munido de suas crenças, chegou ao desenvolvimento da sua filosofia racionalista matemática deducionista (baseado em Henry,</p>

	<p>1998, p. 31, Gribbin, 2005, p. 123 e Rocha, 2002, p. 88 e 89). Apesar de certas idéias físicas serem errôneas (baseado em Simaan e Fontaine, 2003, p. 252 e 253), é fato que “desde antes de sua morte, os debates filosóficos e científicos se realizaram, quase sempre e cada vez mais, com referência à suas idéias” (Jerphagnon, 1992, p. 138).</p>
<i>Isaac Newton</i>	<p>O processo de revolução científica que Newton herdou tinha como desafio integrar em um único conjunto de idéias explicativas a nova astronomia de Copérnico e Kepler e o movimento dos corpos no ambiente terrestre estudados por Galileu.</p> <p>Newton também pôde beber na fonte das idéias empiristas de Bacon e no pensamento dedutivo-matemático de Descartes:</p> <p>“Essa combinação de empirismo experimental e determinismo matemático foi associada à capacidade científica de previsão e controle, que teve, de um lado, um impacto filosófico, no modo de pensar e ver o mundo da modernidade, e, de outro lado, um impacto na prática, na vida das pessoas, via tecnologia. O primeiro destes impactos foi imediato, o segundo se deu ao longo do tempo, até nossos dias” (Rosa, 2005, p. 133).</p> <p>Newton inventou o cálculo diferencial – embora Leibnitz o tenha feito também de forma independente logo depois de Newton. Assim, propiciou aos cientistas dos séculos subsequentes “as ferramentas matemáticas para se estudar os processos nos quais ocorrem mudanças” (Gribbin, 2005, p. 184).</p> <p>Foi a publicação, em 1687, de <i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i> que lançou os alicerces para toda a física, estabelecendo a universalidade das leis da física. Assim, por meio desse trabalho, estabelece-se:</p> <p>“... a percepção que o mundo funciona essencialmente sob princípios mecânicos que podem ser compreendidos por seres humanos, e não é governado de acordo com a magia ou as venetas de deuses caprichosos [...] Newton abriu os olhos dos cientistas para o fato de que os fundamentos do Universo podem ser simples e compreensíveis, apesar de sua complexidade superficial.” (<i>ibidem</i>, 2006, p. 190).</p> <p>É principalmente sobre sua obra que se constrói a visão de mundo dominante do pensamento moderno.</p>

Efeito Newton: o paradigma mecanicista

“O modelo de racionalidade que preside a ciência moderna constitui-se a partir da revolução científica do século XVI e foi desenvolvido nos séculos seguintes basicamente no domínio das ciências naturais. [...] Sendo um modelo global, a nova racionalidade científica é também um modelo totalitário, na medida em que nega o caráter racional a todas as formas de conhecimento que se não pautarem pelos seus princípios epistemológicos e pelas suas regras metodológicas. [...] Está consubstanciada, com crescente definição, na teoria heliocêntrica de Copérnico, nas leis de Kepler sobre as órbitas dos planetas [que utiliza os dados de Tycho Brahe], nas leis de Galileu sobre as quedas dos corpos, na grande síntese da ordem cósmica de Newton e finalmente na consciência filosófica que lhe conferem Bacon e Descartes” (Santos, 2003, p. 10 e 11).

Estava inaugurada a época do ‘determinismo científico clássico’, voltado para a previsibilidade, banhado em um reducionismo analítico e no triunfo dos métodos empíricos, no qual “a complexidade é apenas aparente e pode ser dividida numa série de leis simples e universais que podem ser descritas em termos puramente matemáticos” (Mayor e Forti, 1998, p. 34).

É por meio da mecânica clássica de Newton que se forma a imagem do mundo como uma grande máquina, um grande e preciso relógio mecânico, estabelecendo “para a humanidade a visão de um Universo ordenado e previsível” (Sametband, 1999, p. 22).

“De acordo com a mecânica de Newton, quando se conhece o estado de um sistema físico (posições e velocidades) num instante dado – que chamaremos ‘instante inicial’ –, podemos deduzir seu estado em qualquer outro instante” (Ruelle, 1993, p. 41).

A mecânica newtoniana forneceu uma imagem mecanicista do mundo, com alto grau de determinismo, sobre a qual Laplace elaborou sua formulação elegante sobre uma possível inteligência capaz de ver o futuro e o passado a partir do conhecimento da situação atual. Consolida-se então a noção de reversibilidade do tempo, com a idéia de fundo que se pode sempre restaurar as condições iniciais de um sistema.

De acordo com Sametband (1999, p. 16), a principal mensagem da obra ‘Princípios matemáticos da filosofia natural’ de Isaac Newton foi: “O universo é ordenado e previsível; tem leis expressáveis em linguagem matemática²⁸, e podemos descobri-las”.

Conforme Stewart (1991, p. 45 e 46),:

“[A partir de Newton,] Um por um, os vários ramos da física foram se submetendo ao império da lei matemática [das equações diferenciais...]. Um *paradigma* irresistível emergia. Era por meio de equações diferenciais que a natureza deveria ser modelada. [...] Modelos matemáticos determinísticos, crença num mundo determinístico”.

Torna-se necessário nesse ponto discutir o conceito de *paradigma*. Trata-se de um termo polissêmico, popularizado pela obra de Kuhn (1997): “A estrutura das revoluções científicas”, publicada originalmente em 1962 e na qual foi dada uma abordagem epistemológica para o termo.

Conforme o próprio Kuhn (1997, p. 226), já foram identificados vinte e dois sentidos para o termo paradigma dentro de sua própria obra. O autor entende que sua proposta estabelece apenas dois significados básicos para o termo – esclarecidos em um posfácio inserido na sua obra a partir das edições de 1969 (*ibidem*, p. 218):

“[1º – de natureza sociológica] constelações de crenças, valores e técnicas etc. partilhadas pelos membros de uma comunidade determinada... ; [2º – de

²⁸ Essa idéia também foi declarada por Galileu, que afirmou que Deus escreveu o livro da natureza em linguagem matemática (também conforme Soares 2001, p. 21).

natureza exemplar] soluções concretas de quebra-cabeças, que empregadas como modelos ou exemplos, podem substituir regras explícitas como bases para solução dos restantes quebra cabeças da ciência normal.”

Para o presente trabalho estabelece-se como proposta que para a *consolidação de um paradigma* deve haver um desenvolvimento concomitante dos dois significados propostos por Kuhn. Ao primeiro significado associa-se a idéia de uma *estrutura conceitual* que estabelece uma *abordagem de pensamento*; ao segundo significado associa-se a idéia de *soluções e descobertas dentro de modelos definidos* que estabelecem ‘*explicações científicas*’ sobre o *funcionamento do mundo*, de tal forma que conjuntamente esses dois elementos estabelecem uma *visão de mundo* para a comunidade (ver figura 19 – ciência e pensamento 1).

Figura 19: Ciência e Pensamento 1

Consolidado um paradigma científico, o que Kuhn chama de ciência normal, a dinâmica evolucionária epistemológica ocorre através de crises que são iniciadas por

anomalias²⁹, que surgem nas aplicações dos modelos consolidados a novos problemas. Assim, a ocorrência de anomalias pode iniciar a criação de novas teorias e novas descobertas, que passam a delinear uma nova ciência em construção (baseado em Kuhn, 1997, p. 14 a 25).

“Se a consciência da anomalia desempenha um papel na emergência de novos tipos de fenômenos, ninguém deveria surpreender-se com o fato de que uma consciência semelhante, embora mais profunda [que envolve uma revisão conceitual do paradigma], seja um pré-requisito para todas as mudanças de teorias aceitáveis.[...] A emergência de novas teorias é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas da ciência normal” (Kuhn, 1997, p. 94 e 95).

A figura 20 – Ciência e pensamento 2 – procura apresentar a dinâmica de alteração de paradigma com base em Kuhn.

Figura 20: Ciência e Pensamento 2

²⁹ Na linguagem de Kuhn, anomalias são resultados considerados anormais, não desejados.

A visão de mundo é afetada pela alteração de um paradigma, como observou Kuhn (1997, p. 146) ao analisar a comunidade científica: “[...] as mudanças de paradigma realmente levam os cientistas a ver o mundo definido por seus compromissos de pesquisa de uma maneira diferente”.

Considerar a existência de um paradigma de uma forma muito mais ampla do que em uma comunidade científica de especialistas, tal como um supra-paradigma “mecanicista”, é algo que o próprio Kuhn estabeleceu como possível: “... as comunidades podem certamente existir em muitos níveis [abordagem em multi-nível]. A comunidade mais global [de cientistas] é composta por todos os cientistas ligados às ciências da natureza” (Kuhn, 1997, p. 221).

“As mudanças nos padrões científicos que governam os problemas, os conceitos e explicações admissíveis, podem transformar uma ciência. [...], chegarei mesmo a sugerir um sentido no qual podem transformar o mundo” (Kuhn, 1997, p.141).

“Não há uma visão única de mundo. Em uma época, podem conviver várias, mas uma delas é dominante ou hegemônica [...] e tem a ver com a ideologia que reflete os interesses da classe dominante [...] A visão do mundo dominante em cada época reflete na superestrutura da cultura as condições objetivas do mundo, com sua base material e econômica e sua ordenação político social. Assim, ela depende em primeiro lugar das condições objetivas estruturais, econômicas e sociais. A ciência fornece paradigmas que se incorporam na visão de mundo e, ao mesmo tempo, refletem essas condições objetivas. Uma vez que esse paradigma torna-se hegemônico e serve à ideologia dominante ou em ascensão, é generalizado e passa a influir em diferentes áreas, tal como ocorreu com o determinismo newtoniano na modernidade, desde o século XVII até nossos dias. Torna-se um paradigma de uso geral, inclusive fora do campo da ciência em que surgiu” (Rosa, 2005, p. 21 e 22).

Sabe-se que ao expandir a dimensão da comunidade para uma generalizada população ocidental, aumenta-se a complexidade de fatores culturais e econômicos, inclusive pelas diferenciações geográficas e históricas. Entretanto, tamanho foi o impacto da ciência newtoniana, com base mecanicista, no pensamento ocidental, que todos os fatores acabaram por co-evoluir de forma a corroborarem para a consolidação de um paradigma (ou supra-paradigma) de natureza fisicalista, caracterizado como ‘mecanicista’.

“Segundo a mecânica newtoniana, o mundo da matéria é uma máquina cujas operações se podem determinar exatamente por meio de leis físicas e matemáticas, um mundo estático e eterno a flutuar num espaço vazio, um mundo que o racionalismo cartesiano torna cognoscível por via da sua decomposição nos elementos que o constituem. Esta idéia do mundo-máquina é de tal modo poderosa que se vai transformar na grande hipótese universal da época moderna, o *mecanicismo*³⁰. Pode parecer surpreendente e até paradoxal que uma forma de conhecimento, assente numa tal visão do mundo, tenha vindo a constituir um dos pilares da idéia de progresso que ganha corpo no pensamento europeu a partir do século XVIII e que é o grande sinal intelectual da ascensão da burguesia. Mas a verdade é que ordem e estabilidade do mundo são a pré-condição da transformação tecnológica do real” (Santos, 2003, p. 17).

“A ciência moderna só pôde emergir na efervescência cultural da Renascença, na efervescência econômica, política e social do Ocidente europeu dos séculos 16 e 17. Desde então ela se associou progressivamente à técnica, tornando-se tecnociência, e progressivamente se introduziu no coração das universidades, das sociedades, das empresas, dos Estados, transformando-os e se deixando transformar, por sua vez, pelo que se transformava” (Morin, 1996a, p. 8 e 9).

E ainda, de acordo com Gottschal (2004, p. 193):

³⁰ Ressaltado em itálico pelo autor deste trabalho.

“Lembremos que o aristotelismo disseminado pela escolástica estava tão emaranhado em todos os aspectos da vida cultural que era extremamente difícil modificá-lo. Teria que ser substituído por um sistema igualmente abrangente. A filosofia mecanicista se prestava a esse desiderato, e seu surgimento marca uma ruptura definitiva com o passado e é o início da Revolução Científica.”

O volume de conhecimento que se desenvolveu a partir do séc. XVII, oriundo da ciência, fez com que esta se desdobrasse em diversas ciências particulares. Assim, ao mesmo tempo em que a ciência tendia cada vez mais para a especialização em diferentes áreas do conhecimento, o conhecimento científico, com sua abordagem mecanicista, passou a ser referência dominante na questão da legitimidade do conhecimento.

“No fim do século XVIII, os sucessos da física permitem conceber um universo determinista totalmente inteligível ao cálculo” (Morin, 1996a , p. 158).

“O ponto de vista mecanicista se popularizou e, combinado com o método experimental, deu um grande impulso à física, à química e à biologia. E ainda se transformou na base de novas teorias políticas, econômicas e sociais” (Sametband, 1999, p. 24).

Assim, em busca de um progresso permanente através da aplicação prática da ciência, o pensamento da simplificação mecanicista se institucionaliza nas camadas influentes, política e intelectualmente, da sociedade ocidental, como única forma de se conduzir a um futuro promissor.

A abordagem mecanicista, com sua base determinista com foco em previsibilidade, reducionista e de lógica linear de causa e efeito, torna-se o paradigma dominante. Paradigma no sentido amplo, tal como se refere Morin (de acordo com Vasconcellos, 2002, p. 34): “[Morin] considera que os paradigmas são princípios ‘supralógicos’ de

organização do pensamento, princípios ocultos que governam nossa visão do mundo, que controlam a lógica de nossos discursos, que comandam nossa seleção de dados significativos e nossa recusa dos não-significativos, sem que tenhamos consciência disso”.

Nas palavras do próprio Morin (2001, p. 85):

“Na nossa concepção, um paradigma é constituído por um certo tipo de relação lógica extremamente forte entre noções mestras, noções chaves e princípios chaves. Esta relação e estes princípios vão comandar todos os propósitos que obedecem inconscientemente seu império”.

Assim, a transição para um paradigma que se iniciou no século XVI, contou com diversas contribuições significativas, até que, no final do século XVII finaliza-se com a divulgação da obra de Newton. Então, o novo paradigma se consolida e adquire sua hegemonia³¹ a partir do século XVIII, mantendo-se praticamente inabalável até meados do século XIX (ver figura 21).

³¹ Com base em Rosa (2005, p.22) sabe-se que “Não há uma única visão de mundo. Em uma época, podem conviver várias, mas uma delas é dominante ou hegemônica [...]”.

Figura 21: Consolidação do Paradigma Mecanicista

Os resultados da ciência moderna tendem a estabelecer que a única forma de conhecimento da verdade é oriunda da metodologia científica. Por consequência, procura-se utilizar os métodos aplicados nas ‘ciências da natureza’ nas ‘ciências das humanidades’ (economia, sociologia, psicologia etc.). Este cientificismo nas demais ciências se torna evidente na segunda metade do século XIX (segundo Japiassu, 2001b, p. 174).

Conforme Rosa (2005, p. 16), a ciência influencia a visão de mundo dominante e é influenciada por esta: “Assim, paradigmas da ciência têm sido usados para legitimar a ordem social e econômica”.

“Não subestimemos o efeito do paradigma determinístico clássico da física matemática sobre nossa sociedade [...] A tecnologia é nossa própria criação. Nela o que fazemos não é tanto entender o universo como construir

minúsculos universos que nos são próprios, tão simples que podemos levá-los a fazer o que queremos. Tudo que a tecnologia visa é estabelecer um efeito controlado sob determinadas circunstâncias” (Stewart, 1991, p. 47).

Assim, os conhecimentos da física clássica, delineados pelo paradigma mecanicista para descrever a dinâmica de sistemas físicos dos corpos celestes e dos corpos manuseáveis na vida cotidiana, passam a ser a referência para tentar descrever, e até prever, o comportamento dos demais diversos sistemas do mundo, inclusive dos sistemas vivos, tanto no nível biológico quanto no social, inclusive das organizações produtivas. E sob essa perspectiva, à primeira vista, não existe lugar para o acaso e a irreversibilidade, mesmo contrariando a percepção da realidade do dia-a-dia.

“Daí que o prestígio de Newton e das leis simples a que reduzia toda a complexidade da ordem cósmica tenham convertido a ciência moderna no modelo de racionalidade hegemônica que pouco a pouco transbordou do estudo da natureza para o estudo da sociedade” (Santos, 2003, p. 18).

Dentro da realidade organizacional o reconhecimento da influência até recentemente da hegemonia do paradigma mecanicista newtoniano está expresso nas palavras de McMaster (1996, p. xv e xviii):

“Para a maioria de nós, nossas idéias sobre o mundo, nossos modelos e nossas estruturas de interpretação surgem de alguns poucos pressupostos fundamentais. Nós utilizamos esses pressupostos para projetar e operar nossas empresas e relacionar com as pessoas nessas empresas. O pensamento, a lógica e a linguagem que envolvem esses pressupostos são baseados na nossa visão de que o mundo funciona como uma máquina, a qual é previsível e compreendida de forma detalhada [...] Quando rompermos o domínio que o paradigma newtoniano-cartesiano tem tido sobre as mentes ocidentais por séculos, nós seremos capazes de criar novas relações que ocorrem dentro [nas nossas mentes] e em volta de nós”.

Os abalos do mecanicismo

Rosa (2005, p. 18), ao considerar “o determinismo newtoniano como um paradigma geral na visão hegemônica de mundo da modernidade, desde suas origens até a ruptura deste paradigma iniciada no fim do milênio, nos séculos XIX e [início do século] XX”, defende como tese que “em substituição ao determinismo newtoniano, está em gestação um novo paradigma geral da ciência [que] poderá tornar-se hegemônico e ser incorporado em uma nova visão de mundo [...]” (*ibidem*, p. 23). O autor ainda afirma que:

“Este processo começou pela ruptura do paradigma newtoniano no âmbito interno da física, em pleno apogeu da mecânica no século XIX, com a Revolução da Termodinâmica e do Eletromagnetismo. Entretanto, a ruptura completou-se no âmbito da física apenas no século XX com a Revolução da Relatividade e da Mecânica Quântica. Mas o determinismo ‘preditivo’ da mecânica newtoniana sobreviveu até agora como paradigma geral para outras áreas do conhecimento. Seu recuo efetivo na visão de mundo dominante só está ocorrendo contemporaneamente, abalando inclusive a teoria econômica que dá sustentação ao capitalismo liberal” (*ibidem*, p. 23).

Conforme Sametband (1999, p. 16), na prática os modelos matemáticos newtonianos, apesar das suas utilidades, só puderam resolver equações que envolviam leis físicas simples para sistemas com condições iniciais simples. Tal que, diante da infinita complexidade da natureza, pela quantidade de interações possíveis entre todos os elementos existentes, o recurso utilizado é considerar idealmente separado o sistema que se quer estudar e, a seguir, selecionar as características consideradas importantes para o fenômeno que se deseja examinar, com a finalidade de se obter uma condição inicial simples e determinada.

Assim, conforme também constatou também Stewart (1991, p. 46), muitos problemas, mas nem todos, poderiam ser tratados por equações que podiam ser resolvidas. Deste modo, passou a ocorrer um processo de seleção natural, no qual as

equações que não podiam ser resolvidas eram alvo de menos interesse daquelas que podiam. As equações relacionadas a problemas como o movimento de três corpos com interação física entre si, de difícil solução, passaram a ser vistas como exceção, quando uma avaliação mais realista as consideraria como regra.

“A matemática era capaz de calcular o movimento de um satélite de Júpiter, mas não de um floco de neve numa nevasca. Podia descrever o crescimento de uma bolha de sabão, mas não o de uma árvore. [...] na prática conceitos tais como o da pressão de um gás ou da temperatura de uma lâmpada a carvão estavam muitíssimo além das fronteiras do que podia ser rigorosamente deduzido das leis efetivamente conhecidas” (*ibidem*, p. 51).

Contudo, em pleno século XIX, ao lado da cientificidade clássica que acreditava em um universo totalmente determinista pela matemática newtoniana, no sentido de uma exata previsibilidade pela matemática, surgiam dentro da própria física, com a termodinâmica e o eletromagnetismo, as noções de desordem, irreversibilidade, acaso e relações não mecanizadas. Essa situação não se restringiu à física, de tal forma que o ‘mecanicismo’ começou ser desafiado em diferentes áreas de conhecimento.

“[...] as revoluções científicas iniciam-se com um sentimento crescente, também seguidamente restrito a uma pequena subdivisão da comunidade científica, de que o paradigma existente deixou de funcionar adequadamente na exploração de um aspecto da natureza, cuja exploração fora anteriormente dirigida pelo paradigma” (Kuhn, 1997, p. 126).

Assim, se o paradigma dominante tem como principal fonte a física com a mecânica clássica, independente das demais contribuições que de certa forma abalam o paradigma, a principal força do abalo ocorre quando teorias alternativas surgem dentro da própria física, mas não se pode ignorar o que os outros abalos semearam.

Sem querer ser completa, a figura 22 apresenta fontes significativas de novos conceitos e teorias que começaram a abalar o paradigma mecanicista, do séc. XIX até meados do século XX.

Figura 22: Abalos do mecanicismo – do séc. XIX até meados do séc. XX

Deve-se considerar que algumas dessas contribuições ficaram esquecidas ou restritas a um pequeno grupo de especialistas. De qualquer forma, mesmo aquelas que não abalaram efetivamente o mecanicismo de forma ampla em seu tempo, serviram de subsídio para o desenvolvimento de teorias mais elaboradas em períodos posteriores.

Com a finalidade de apresentar uma síntese dos abalos do paradigma mecanicistas, e seus desdobramentos, foi elaborada a tabela 30. Cada um dos abalos citados possui seu conteúdo detalhado no Apêndice C.

Tabela 30: Síntese dos abalos do mecanicismo e seus desdobramentos

FONTE	PRINCIPAIS IDÉIAS QUE ABALAM O MECANICISMO	CONSEQUÊNCIAS
Teoria dos Grafos	Uso de soluções gráficas com visão de rede, que possui propriedades próprias	Contribui para o futuro desenvolvimento de uma teoria de rede (<i>network</i>)
Dinâmica dos três corpos	Limitação de soluções deterministas totalmente previsíveis e entendimento da noção de sensibilidade às condições iniciais	Base para o desenvolvimento da matemática do ‘caos’
Teorema de Godel	Reconhecimento da incerteza dentro da própria matemática	Consciência da necessidade de ter de lidar com a ‘incerteza’
Termodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> • Padrões regulares no nível de sistema emergem de uma complexidade interacional no nível dos elementos • A irreversibilidade na dinâmica de sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Busca de entendimento de ‘padrões de sistemas’, sem a busca da análise reducionista • Ponto de partida para lidar com ‘estruturas dissipativas’
Eletromagnetismo	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolve-se a idéia de campo de força e ondas • Estabelece-se a velocidade da luz como constante no vácuo – independente do referencial 	<ul style="list-style-type: none"> • O conceito de ‘campo e ondas’ é introduzido no ideário científico • Surge uma grande anomalia com a ‘velocidade constante da luz’ que a mecânica clássica não pôde resolver – necessitava-se de novas teorias (porta para a relatividade)
Teoria da Relatividade	<ul style="list-style-type: none"> • Rompimento com referenciais absolutos (tempo, espaço e matéria) • Abalo da linearidade na física pela constância da velocidade da luz • Entendimento do universo como não estacionário 	<ul style="list-style-type: none"> • Percebe-se que a realidade física é muito mais ‘complexa’ e pode ser interpretada segundo referências pessoais • Prova-s que a não-linearidade pode ser explicada por novas teorias • Corroborar para a construção de uma visão evolutiva complexa de mundo
Teoria quântica	<ul style="list-style-type: none"> • Descontinuidade no comportamento quântico (saltos quânticos) • Necessidade de lidar com o comportamento dual dos elementos quânticos (onda e matéria) • Conexões quânticas que desafiam a realidade local • O observador afeta o que está sendo medido 	<ul style="list-style-type: none"> • Rompe-se com a idéia predominante de gradualismo – o que abre espaço para idéias como ‘equilíbrio pontuado’ • Necessidade de lidar com idéias aparentemente antagônicas – só que podem ser consideradas complementares, que é um dos princípios do ‘pensamento complexo’ • Base para propostas como a teoria de ‘sinérgicos’ e do ‘sincronismo’ <p>O ‘observador passa a integrar o sistema e afetar o próprio sistema’</p>
Biologia evolucionista	<ul style="list-style-type: none"> • O acaso passa a fazer parte de 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelece-se a oportunidade de

	uma teoria científica da natureza • Contribui para a noção de irreversibilidade do tempo	considerar a possibilidade de se ter sistemas ‘deterministas não previsíveis’ em função do ‘acaso’ • Corroborar para uma visão evolucionista não-linear
Ecologia	Contribui para a construção de uma perspectiva holística	Base para teorias sistêmicas posteriores – ‘teoria geral de sistemas’ e ‘teoria Gaia’
Ciências da Humanidade	Amplia-se as abordagens para tratar sistemas complexos - sociais	Reconhecida como ciência, abre-se a possibilidade de desenvolver ‘novas metodologias e conceitos’ para compreender os ‘complexos sistemas sociais’
Gestalt	Contribui para a construção de uma perspectiva holística	Contribui para a construção de ‘pensamentos mais sistêmicos’
Teorias Freudianas	Argumentação para tratar questões menos racionais com base teórica e com resultados práticos	Valorização de ‘aspectos abstratos’ e relações não-lineares
Máquina de Turin	Estabelece-se o princípio da lógica computacional	Abre-se o caminho para o desenvolvimento de ‘lógicas computacionais’ que se desenvolvem para muito além de tratamentos numéricos

Balço dos abalos do paradigma mecanicista

Se o paradigma mecanicista sustenta-se em um pensamento de simplificação mecanicista, que co-evolui com as explicações fundamentadas na mecânica clássica desenvolvida pelo sistema de mundo da física newtoniana, é de se esperar que os abalos mais significativos devam ser oriundos da própria física.

Assim, no final do século XIX, existem como explicações científicas do mundo: a mecânica clássica, a termodinâmica e o eletromagnetismo; este conjunto passa a ser denominado de “física clássica”: “A Termodinâmica, juntamente com a Mecânica Clássica e o Eletromagnetismo, compõem o que se chama Física Clássica, a parte da física que estuda fenômenos macroscópicos” (Rocha, 2002, p. 139). Essa física passa a se refletir no cotidiano da humanidade, seja pelas tecnologias acessíveis ao consumo, seja pela próprio conteúdo educacional das instituições de ensino. Mas, mesmo com o aumento de complexidade na ciência, as novas explicações da física clássica - além da mecânica clássica - ainda buscavam se utilizar do pensamento mecanicista simplificador. Tais teorias conviviam relativamente bem, lado a lado, ao explorarem diferentes focos:

- Mecânica clássica: foco em matéria/movimento
- Termodinâmica: foco em calor/energia
- Eletromagnetismo: foco em campo/onda

Porém, “No século XX, nascem a teoria da relatividade e a mecânica quântica que abrem os horizontes no que se refere respectivamente aos sistemas físicos que se deslocam com as velocidades próximas da luz e aos fenômenos microscópicos” (*ibidem*).

No âmbito teórico, um aspecto transformador nas físicas da relatividade e quântica, é que, de certo modo, elas buscam tratar de forma mais integrada e simultânea – e mais complexa –, os focos independentes das teorias da física clássica, mesmo que com abordagens distintas. Entretanto:

“O problema é o seguinte: a física moderna repousa em dois pilares. Um é da relatividade geral de Albert Einstein, que fornece a estrutura teórica para a compreensão do universo nas maiores escalas: estrelas, galáxias, aglomerado de galáxias, até além da imensa extensão total do cosmos. O outro é a mecânica quântica, que fornece a estrutura teórica para a compreensão do universo nas menores escalas: moléculas, átomos, descendo até as partículas subatômicas, como elétrons e quarks” (Greene, 2001, p. 17).

Ou seja, na física da relatividade predominam contribuições das dimensões da realidade que serão denominadas de ‘macro’, por tratarem da velocidade da luz e dimensões cosmológicas, ao mesmo tempo em que se abre espaço para a física quântica, onde predominam contribuições nas dimensões da realidade que serão denominadas ‘micro’, por tratarem de fenômenos no nível atômico e subatômico. Sob esta abordagem, as dimensões da realidade mais próximas do cotidiano humano, as quais serão denominadas ‘meso’³², continuam, na prática, a se utilizar

³² A fronteira exata entre macro, meso e micro não é algo definido com precisão, mas esses conceitos se prestam para estabelecer um referencial, mesmo que individual, para perceber e tratar a realidade.

predominantemente da física clássica, o que justifica até certo ponto ainda o predomínio do paradigma mecanicista.

“Historiadores da física costumam exagerar a importância das grandes descobertas em física dos anos 1920 (mecânica quântica, relatividade, física das partículas elementares). O Historiador Pais disse, por exemplo, que as teorias de Einstein ‘mudaram profundamente a maneira de homens e mulheres modernos pensarem sobre fenômenos da natureza inanimada’. Mas, reconsiderando, ele percebeu o exagero e corrigiu sua afirmação: ‘seria na realidade melhor falar em *cientistas modernos* do que *homens e mulheres modernos*’. Com efeito seria melhor, seria ainda melhor falar em ‘cientistas físicos’, porque as teorias de Einstein não afetam de nenhum modo outros cientistas. De fato, para compreender as contribuições de Einstein em sua plenitude, é preciso ter formação no estilo de pensamento dos físicos e em ramos especiais da matemática. É preciso muito otimismo para estimar que mesmo um em 100 mil seres humanos vivos hoje faça idéia do que é, afinal, a relatividade de Einstein” (Mayr, Ernst, 2005, p. 31 e 32).

Outro problema com o desenvolvimento não integrado das perspectivas macro e micro na física, é que, em princípio, elas não podem estar certas ao mesmo tempo, mesmo apresentando resultados comprovados em seus respectivos campos conceituais (baseado em Greene, 2001, p. 17). Assim, em um primeiro momento, sem desenvolver uma nova forma de pensar para lidar com essa diversidade de explicações conceituais de grande profundidade sobre a realidade, aparentemente inconciliáveis, é de se esperar que haja uma reação de se refugiar no pensamento meso dominante (mecanicismo), ao invés de ter que lidar com a complexidade na ciência.

Isso não significa que os desenvolvimentos nas dimensões micro e macro não venham afetar a dimensão meso; de certa forma é isso que acontece quando a ciência nesses níveis se transforma em tecnologia disponível ao consumo. Também é

esperado, pelo menos nos tempos atuais, que os desenvolvimentos na dimensão micro afetem cada vez mais diretamente a dimensão meso, e é o que tem acontecido.

Mas, de forma ampla, mesmo anos após os desenvolvimentos da física no nível macro e micro, a sociedade muito pouco reflete, ou tem consciência³³, sobre como muitos desses desenvolvimentos afetam, ou podem vir a afetar o nível meso, constatação que, de certa forma, contribui para a dominância do paradigma mecanicista.

Para se visualizar esses aspectos tratados anteriormente, relativos ao desenvolvimento da física, ver figura 23.

Figura 23: Dimensões tratadas pela física

³³ Provavelmente pela falta de conceitos relacionados às origens das contribuições tecnológicas, tal que há uma possível adequação mental ao paradigma mecanicista para entender a tecnologia que se torna acessível.

Contudo, na dimensão meso, tem-se que reconhecer que também as contribuições científicas do desenvolvimento da química – mesmo que considerada integrada em uma abordagem físico-química –, da biologia (ou ciências biológicas) e das ciências da humanidade, mesmo que essa qualificação seja controversa, ampliam as perspectivas no nível meso.

Assim, mesmo com a predominância do paradigma mecanicista, abrem-se novas abordagens de conhecimentos científicos acessíveis ao nível meso, tal que estes podem se tornar janelas para o desenvolvimento de novas perspectivas científicas, e conseqüentemente, para a construção de um novo paradigma.

É interessante lembrar que devido ao desenvolvimento próprio da matemática, ela consagrou-se como uma ciência à parte, uma ciência formal.

Assim busca-se estar, quase na sua totalidade, de acordo com a proposta de Bunge (2006, p. 54) para o qual ciência é:

“A busca crítica de, ou para utilização, de padrões nas idéias, na natureza e sociedade. Uma ciência pode ser *formal* ou *factual*. [...] A lógica e a matemática são ciências formais: lidam apenas com conceitos e suas combinações [...] As ciências factuais [lidam com coisas concretas] podem ser divididas em *naturais* (e.g. biologia), *sociais* (e.g. economia) e *biossociais* (e.g. psicologia)”.

No presente trabalho entende-se que as chamadas ciências sociais e biossociais, na classificação de Bunge³⁴, seriam melhor representadas pela denominação ciências da humanidades, tal como apresentado anteriormente nesse capítulo.

³⁴ “As palavras seguintes de Von Mises exprimem bem o ponto de vista mais corrente sobre o assunto [classificação das ciências]: ‘qualquer divisão e subdivisão das ciências tem apenas importância prática e provisória, não é sistematicamente necessária e definitiva, isto é, depende de situações externas em que se realiza o trabalho científico e a fase atual de desenvolvimento de cada disciplina’” (Abbagnano, 2007, p. 165).

O conjunto de ciências (factual e formal) que envolve: Física clássica (físico – química), biologia, ciências sociais e a matemática, como ciência formal, é um corpo de conhecimento científico que se relaciona com a realidade meso. Essas ciências, áreas científicas ou disciplinas, são denominadas por muitos como ciências fundamentais ou básicas³⁵. Entretanto, como lembra Nicolescu (1999, p. 41) “Na visão clássica do mundo, a articulação das disciplinas era considerada piramidal, sendo a base da pirâmide representada pela física”.

A imagem adotada para apresentar o conjunto das ciências fundamentais dentro das dimensões meso não será piramidal, mas terá, nesse momento, a física como elemento central³⁶ – ver figura 24.

Figura 24: Ciências fundamentais e dimensão meso

³⁵ Certos autores excluem as ciências sociais dessa classificação.

³⁶ A organização da ciência apresentada está praticamente alinhada – exceto pela questão da hierarquia – com a proposta de Augusto Comte, filósofo francês que fundou a escola filosófica do positivismo, que classifica as ciências de forma hierarquizada, a qual acredita ele ser, com base na complexidade crescente e na consistência positivista. Comte apresenta a seguinte ordem: matemática, astronomia [que considera-se nesse trabalho como incorporada à física], física propriamente dita, química, biologia e, introduzido por ele, a sociologia que almeja ser uma ‘física social’ (baseado em Vasconcellos, 2002, p. 63).

Mas o conhecimento pelo conhecimento não satisfaz a natureza humana nesse contexto histórico-evolucionista. Espera-se não apenas conhecer a realidade (inanimada, viva e social), mas também dominá-la e transformá-la, tornando o conhecimento científico funcional e útil para a sociedade (ou, pelo menos, para parte dela), ou seja, aplicável a finalidades específicas na realidade meso.

Ocorre, então, um desdobramento das ciências fundamentais, em busca de desenvolvimento de conhecimentos que permitam aplicações das ciências. Surgem de forma imbricada com as ciências fundamentais o que alguns autores denominam de ‘ciências aplicadas’, outros de tecnociências – que no sentido clássico envolve pesquisas com uma finalidade de aplicação de conhecimentos científicos já obtidos.

O método científico não é mais utilizado apenas para se obter o conhecimento pelo conhecimento (que quando ocorre passa a ser denominado ciência pura³⁷ ou de base), amplia-se sua utilização para se obter o conhecimento científico aplicável, tal que os conhecimentos provenientes dessas ciências sejam aplicados a finalidades utilitaristas dentro da realidade meso. Passa a haver o que muitos autores denominam de produção de conhecimento tecnológico com base científica³⁸, ou, no contexto moderno, simplesmente tecnologia.

Nesse contexto, as ditas ciências aplicadas possuem na sua maioria um caráter interdisciplinar, e por possuírem uma relação recorrente, complexa, com as ciências denominadas puras, que inicialmente estariam delimitadas às ciências fundamentais, colaboram para um efeito de explosão disciplinar, desenvolvendo novas ciências (puras e aplicadas – algumas especializadas, outras com conteúdo interdisciplinar; ex: bioquímica).

³⁷ Pura até no sentido de uma proposta ingênua, tal que esse tipo de pesquisa deveria estar totalmente isento de influências político-econômicas.

³⁸ A produção tecnológica de artefatos já ocorria com base empírica – o que é denominado por alguns de ‘técnica’, ou arte produtiva, com o objetivo de estabelecer uma diferenciação, mesmo que didática, de tecnologia. Mas em grande parte dos textos, tecnologia e técnica são utilizados de forma intercambiável (como em Morin, 1996a, p. 107 e 108). Entende-se que o conhecimento tecnológico relacionado à produção por artífices poderia ser classificado como arte, e envolve outra natureza de conhecimento – não científico.

“A complexidade nutre-se da explosão da pesquisa disciplinar e, por sua vez, a complexidade determina a aceleração da multiplicação das disciplinas. [...] As causas do big-bang disciplinar são várias e poderiam ser objeto de diversos tratados eruditos. Mas a causa fundamental pode facilmente ser descoberta: o big-bang disciplinar responde às necessidades de uma tecnociência sem freio, sem valores, sem outra finalidade” (Nicolescu, 1999, p. 41 e 42).

A complexidade na ciência aumenta ainda mais quando se considera que nas ciências puras as tecnologias são recursos para investigação, estabelecendo-se assim uma relação recorrente entre ciências aplicadas e ciências puras (baseado em Gonçalves, 1999, p. 129). E ainda, em função do crescimento das disciplinas e da natureza das descobertas, fica cada vez mais difícil separar claramente ciências puras das aplicadas, de maneira que: “Essa dialética complexa entre ciência pura e ciência aplicada é um dos problemas mais profundos da história científica” (Snow, 1995, 92).

Sabe-se que os saberes científicos se difundem pela educação e jornalismo científico, mas a cultura científica se manifesta na realidade meso principalmente pelas aplicações das ciências (tecnologia) – e o entendimento, ou pseudo-entendimento, que dela se faz.

Também os saberes relativos às humanidades não se resumem às relações com as ciências sociais. Existem manifestações de saberes na forma de filosofia, das artes, em um sentido amplo, e ainda, das questões místicas. Apesar de haver também uma relação recorrente entre saberes científicos e saberes não científicos, existe, pelo menos a partir do surgimento da ciência moderna até meados do século XX, uma relação identificada como concorrente entre esses saberes, no sentido de haver duas culturas conforme estabelecido por Snow (1995, p. 20 a 26). E, apesar das diversas contribuições dentro das diferentes áreas do conhecimento, como argumentado anteriormente, o paradigma mecanicista prevalece.

“Podemos entender o clamor desencadeado pelo conceito de *duas culturas* – a cultura científica e a cultura humanista – introduzido há algumas décadas [1959] por C. P. Snow, romancista e homem da ciência ao mesmo tempo. O rei estava nu. O conforto dos proprietários dos territórios do conhecimento foi ameaçado e sua consciência posta a prova. A ciência é uma parte da cultura, mas esta cultura científica está completamente separada da cultura humanista. As duas culturas são consideradas como antagônicas. A separação entre as duas culturas é antes de tudo uma divergência de *valores*. Os valores dos cientistas não são os mesmos valores dos humanistas. Cada mundo – o mundo científico e o mundo humanista – está hermeticamente fechado em si mesmo. O debate suscitado pelo conceito de ‘duas culturas’ foi benéfico, pois deu a medida do perigo de sua separação” (Nicolescu, 1999, p. 107).

Assim, a realidade meso acessível no cotidiano está envolta não apenas com essas manifestações dos saberes, mas com o contexto histórico-evolucionista em que se encontra, tal que uma forma de representar esse conjunto pode ser observada na figura 25.

Figura 25: Manifestações dos saberes nas dimensões meso

Em função desse processo co-evolucionário entre os saberes surge uma profusão de disciplinas e, conseqüentemente, novos desafios para lidar com essa complexidade:

“Pode-se dizer que nenhuma época histórica teve tantas disciplinas e campos de conhecimento: mais de 10.000 em fins dos anos 90 – responsáveis tanto pelas revoluções da ciência e da técnica, que marcaram profundamente o destino da modernidade, quanto pela introdução de toda sorte de barreiras que, nos dias de hoje, acabaram por constituir-se em verdadeiros obstáculos epistemológicos para a expansão do conhecimento [...] É, portanto, tal contexto em que se misturam as conquistas das disciplinas – que ninguém pode negar – e as barreiras por elas erguidas – que são um fato, exigindo que se faça alguma coisa – que está na origem de um conjunto de iniciativas tratadas do início do século XX, mas que ganharam corpo e lastro a partir dos anos cinquenta [possivelmente se referindo à teoria de sistemas] visando encontrar uma saída para esse estado de coisas” (Domingues, 2005, p. 19).

Assim, a evolução da ciência em si, traz à tona uma complexidade organizacional, morfológica, a qual está inter-relacionada com outros saberes da humanidade e imersa em um contexto histórico-evolucionista, complexidade esta que se encontra além dos abalos dos conteúdos mecanicistas dentro das próprias ciências. Assim, ao considerar-se adicionalmente as contribuições da física na realidade macro e micro, passa-se a ter uma representação mais completa da complexidade na ciência, conforme retrata a figura 26.

Figura 26: Complexidade na ciência

Nova Fase de Transição: a construção de um novo paradigma

Os abalos do mecanicismo indicam que seus pressupostos vêm sendo questionados em diversos campos em função da busca constante pelo homem de conhecimentos sobre os sistemas do mundo. Tal situação caracteriza uma fase de transição de paradigma, no sentido já explicitado de um supra-paradigma, cuja percepção vem sendo partilhada por diversos cientistas e pensadores.

“Vivemos com toda certeza, uma grande transformação: ela afeta a ciência, a técnica, a economia, a sociedade, a própria cultura. Essa transformação está marcada pelo signo do aumento da complexidade e da crise da representação [...]. A ciência segura de si mesma, determinista, redutora, que serviu de base para a ambição da revolução industrial de dominar a natureza, percebida como uma escrava passiva, previsível e manipulável, essa ciência me parece ter seus dias contados” (Jérôme Binde *in* Mendes, 2003, p. 9 e 10).

“Concomitantemente com este acúmulo de rupturas de paradigmas no campo de conhecimento científico³⁹, há hoje uma crise na visão do mundo dominante na sociedade, refletindo o fracasso do capitalismo e do industrialismo, inclusive no socialismo real, em resolver problemas cruciais da humanidade⁴⁰. [...] Embora essa visão de mundo hoje dominante esteja em crise, ainda não se sabe no que ela está se transformando. Mesmo incorporando dissidências, ela continua ainda ser funcional ao capitalismo enquanto ele domina” (Rosa, 2005, p. 22).

“São hoje muitos e fortes os sinais de que o modelo de racionalidade científica que acabo de descrever em alguns dos seus traços principais atravessa uma profunda crise. Defenderei [...] primeiro, que essa crise é não só profunda como irreversível; segundo, que estamos a viver um período de revolução científica que se iniciou com Einstein e a mecânica quântica e não se sabe ainda quando acabará; terceiro, que os sinais nos permitem tão-só especular acerca do paradigma que emergirá deste período revolucionário mas que, desde já, se pode afirmar com segurança que colapsarão as distinções básicas em que assenta o paradigma dominante [...] (Santos, 2003, p. 23).

³⁹ O autor refere-se, inclusive, ao desenvolvimento das ciências da complexidade a partir da segunda metade do século XX, que será objeto de estudo do próximo capítulo.

⁴⁰ O autor inclui problemas relativos à poluição ambiental, exclusão social, ameaça do desemprego, violência (incluindo violência entre nações), além da insatisfação crescente do neoliberalismo e a competição sem freio.

“Tal como a crise física da década de 20, ela [a crise de percepção atual] deriva do fato de estarmos tentando aplicar os conceitos de uma visão de mundo obsoleta – a visão do mundo mecanicista da ciência cartesiano-newtoniana – a uma realidade que já não pode ser entendida em função desses conceitos. Vivemos hoje num mundo globalmente interligado, no qual os fenômenos biológicos, psicológicos, sociais e ambientais são todos interdependentes [na realidade sempre foram]. Para descrever esse mundo apropriadamente, necessitamos de uma perspectiva ecológica que a visão do mundo cartesiana não nos oferece. Precisamos pois de um novo ‘paradigma’ – uma nova visão da realidade, uma mudança fundamental em nossos pensamentos, percepção e valores. Os primórdios dessa mudança, da concepção mecanicista para a holística da realidade, já são visíveis em todos os campos e suscetíveis de dominar a década atual” [um entusiasmo exagerado, considerando que o original foi escrito em 1982] (Capra, 1995, p. 13 e 14).

Stewart (1991, p. 7) considera que há uma mudança na nossa visão de mundo e questiona: “Por que continuaria a ser um conjunto de engrenagens, quando hoje nem mesmo nossos relógios o são mais? Com o advento da mecânica quântica, o mundo passou de engrenagem precisa a loteria cósmica”.

Apesar de ser possível admitir que haja uma fase de transição paradigmática iniciada em meados do século XIX, uma determinação exata do fim desse processo de transição e o nascimento de um período hegemônico de um novo paradigma consolidado é mera suposição. Pois só com o distanciamento no tempo é que se estabelecem marcos históricos de referência mais adequados que possam servir de referência didática e conceitual. E ainda, conforme Kuhn (1997, p. 118), existem casos em que “decorre um tempo considerável entre a primeira consciência do fracasso de um paradigma e a emergência do novo”.

Conforme Withehead (2006, p. 32): “Climas gerais de opinião persistem por períodos de aproximadamente duas ou três gerações, ou seja, por períodos entre

sessenta e cem anos”. Apesar dessa proposição servir apenas como uma referência, observa-se que passaram-se mais de três gerações desde os primeiros abalos do mecanicismo dentro da própria área que o originou; entretanto, se considerarmos a mecânica quântica da década de 20 (do século XX) como o grande divisor de águas, pode-se considerar, pela referência de Whitehead, que ainda se está dentro de um processo de transição, mesmo que próximo de um desfecho.

Assim, mesmo que uma efetiva consolidação de um novo paradigma ainda não esteja realmente ocorrendo, tudo leva a crer que o processo de transição passou do seu ponto de retorno, sendo possível que esteja caminhando para um estágio final de transição (ver figura 27).

Fig. 27: Fase de transição do paradigma mecanicista

A sugestão que este momento está envolvido em um estágio avançado de transformação paradigmática leva à questão: que novo paradigma está se formando?

Para obter uma orientação para essa questão, tomemos com referência Kuhn (1997, p. 144):

“[...] visto que nenhum paradigma consegue resolver todos os problemas que [ele mesmo] define e posto que não existem dois paradigmas que deixem sem solução exatamente os mesmos problemas, os debates entre paradigmas sempre envolvem a seguinte questão: quais são os problemas [conjunto de problemas] que é mais significativo ter resolvido?”

O problema comum que se torna evidente nas situações identificadas que abalaram o mecanicismo, é que soluções analítico-reducionistas não são suficientes para tratar dinâmicas complexas de sistemas, tanto de sistemas formais como os do mundo real. Isso inclui a dificuldade em lidar com questões relacionadas aos fenômenos sociais, tais como a economia e a gestão de sistemas produtivos.

A referência a ‘dinâmicas complexas de sistemas’ equivale, para o escopo deste trabalho, à idéia de ‘sistemas com comportamentos complexos’, que passam a ser características de ‘sistemas complexos’.

Mas o que significa complexidade? O que há de consenso na resposta a essa pergunta é que não há um consenso na definição do termo, e tampouco na caracterização dos conhecimentos científicos dos cientistas que se dedicam a esse tema, tal que: teoria da complexidade, estudo de sistemas dinâmicos, estudos de não-linearidades, teoria de sistemas adaptativos complexos, ciência da complexidade e ciências da complexidade, são muitas vezes utilizados como expressões equivalentes.

Pode-se afirmar, baseado em Morçol (2002, p. 150), que apesar de muitos teóricos da complexidade utilizarem definições numéricas para a complexidade, dando um tratamento quantitativo para o termo, existem cada vez mais adeptos da idéia que a complexidade é mais do que uma questão numérica.

Também há uma tendência em associar a complexidade a propriedades emergentes, como consequência da dinâmica de interações dos elementos de um sistema aberto, tal que as propriedades do sistema não podem ser reduzidas às propriedades de seus componentes, e ainda, afirmam certos autores, que a complexidade estaria associada à dificuldade de um completo entendimento do sistema, em função de que as interações entre os componentes do sistema, e entre esse e o seu ambiente, não podem ser totalmente determinadas. Contudo, Morçol discute essas questões como insuficientes para caracterizar um comportamento complexo, pois desta forma praticamente tudo pode ser considerado como complexo no nível de realidade do dia a dia das atividades humanas (meso)⁴¹, “Se tudo é complexo, então o conceito de complexidade não tem significado⁴²” (*ibidem*, p. 150 e 151) – pelo menos sob uma perspectiva operacional.

Assim, para complementar a caracterização do comportamento complexo de um sistema, a presença de interações de natureza ‘não-linear’ é considerada como um conceito central pela maioria dos teóricos da complexidade. Desta forma, associados à não-linearidade são tratados os conceitos de emergência ou características emergentes, auto-organização e dinâmica evolucionária geradora de padrões não determinados previamente. E, complementarmente, existe uma tendência de tratar ‘operacionalmente’ a complexidade como manifestada no nível meso, o que envolve a relação do observador com a complexidade.

O fato é que um corpo de conhecimentos científicos relacionados ao estudo da dinâmica complexa de sistemas, o qual será denominado de ciências da complexidade, está contribuindo para a construção de um novo paradigma (‘qual o seu conteúdo e como’ serão objeto do capítulo 10), sendo que o ponto de partida mais conhecido dessas novas ciências foi a teoria do caos.

⁴¹ No que tange à realidade material, a manifestação na nossa realidade meso (emergência de características percebidas) decorre do nível subatômico (quântico), no qual predomina bastante indeterminismo, o que parece estabelecer a complexidade como algo imbricado à nossa realidade.

⁴² Mesmo que em essência todo sistema possa ser considerado complexo, como afirma Morin (*in* Gershenson *et al*, 2007, p. 11)

A construção de um novo paradigma, como proposto anteriormente, envolve tanto *explicações científicas*, com base em descobertas científicas e uso de modelos, quanto uma *abordagem de pensamento*, com base em uma estrutura conceitual. Assim, considerando que a complexidade está se desenvolvendo na perspectiva científica – dentro das ciências, no conjunto das ciências e como ciência à parte –, entende-se que de forma recorrente, também está se desenvolvendo na perspectiva da forma de pensamento – como na proposta do pensamento complexo de Edgar Morin.

Como consequência, tem-se que a evolução das perspectivas da complexidade pode ser a principal fonte de contribuição para a construção de um novo paradigma, já denominado por alguns de paradigma da complexidade – talvez um tanto prematuramente em função de polêmicas existentes, apresentadas no capítulo 14 do presente trabalho.

Tal paradigma, caso venha a se consolidar, poderia ter seu processo evolucionário como o representado na figura 28. Esse processo contribuiria para uma nova visão de mundo, que poderia ser: Mundo complexo, como uma emergência em multiníveis, em função da dinâmica de interações lineares e não-lineares. E, teria como abordagem de pensamento um *Pensamento ‘mais’ Complexo* – que está além do pensamento de simplificação mecanicista –, e as explicações científicas do mundo seriam estabelecidas pela *Complexidade na Ciência*, a qual irá comportar também as ciências da complexidade.

Figura 28: Evolução para um paradigma da complexidade

Assim, faz-se necessário entender os conteúdos propostos pertinentes aos temas 'Ciências da Complexidade/Complexidade na ciência' e 'Pensamento *mais* Complexo', e como esses temas podem ser relacionados à gestão (objeto do cap. 10). E ainda, considera-se que é fundamental estabelecer uma visão crítica sobre o tema e suas tendências.

Para avaliar a existência de um contexto propício à uma mudança de paradigma, serão retomadas as condições contextuais abstratas encontradas a partir do séc. XV, apresentadas no início do capítulo, que propiciaram o surgimento do paradigma mecanicista, para se realizar um comparativo com as condições existentes contemporâneas para averiguarmos se tais condições são semelhantes e, conseqüentemente, propícias para o surgimento de um novo paradigma dominante que influenciaria a nossa visão de mundo; para tal ver a tabela 31.

Tabela 31: Dimensões abstratas favoráveis à construção de um novo paradigma

Condições a partir do século XV favoráveis à um novo Paradigma	DIMENSÕES ABSTRATAS	Condições a partir do final do século XX favoráveis à um novo Paradigma
Retomada do uso do dinheiro – moeda – , que traz uma dimensão simbólica e a necessidade de cálculos matemáticos.	Uso do dinheiro	Avanço no uso do dinheiro eletrônico, estabelecendo uma relação totalmente abstrata com o mesmo.
Disseminação do uso da matemática - aritmética e geometria euclidiana - em aplicações práticas produtivas.	Uso da matemática	Desenvolvimento de avanços matemáticos para tratar relações não-lineares – teoria do caos – e desenvolvimento da geometria fractal.
Construções físicas, que misturavam trabalho técnico e artístico estético, por especialistas fora da academia, os quais propiciaram um enorme avanço na mecânica prática.	Realizações construtivas	Desenvolvimento de ambientes simulados por computador, que misturam muitas vezes técnica e arte estética.
Uso de mecanismos de medição do tempo, distanciando-se da dependência da observação direta do sol e das estrelas	Medição do tempo	O tempo deixa de ser absoluto quando envolve velocidades próximas da luz, necessitando de desenvolvimentos abstratos de novas realidades distantes da nossa experiência direta
Desenvolvimento de novos instrumentos e informações para navegação marítima	Recursos de navegação	Desenvolvimento de novos instrumentos e informações para navegação na internet
Descobertas de novas perspectivas globais, por meio da descoberta de novos Mundos	Novas perspectivas globais	Descobertas de novas perspectivas globais, por meio da globalização informacional, comercial e financeira, assim como, do entendimento de ameaças globais (ex: aquecimento global)

Portanto, pode-se observar que as dimensões abstratas identificadas, que podem favorecer o aparecimento de um novo paradigma, estão presentes também no momento atual, só que dentro de um contexto próprio.

Ciência, Gestão e Engenharia de Produção

O nascimento da ciência moderna, a Revolução Científica como é conhecida, não aconteceu por si mesmo, isolada de seu contexto histórico-evolucionista, está relacionado ao movimento renascentista que se desenrolava na Europa no século XIV ao XVI, no qual a imprensa e tantas outras invenções transformaram o cenário dos homens desta época.

Os sábios renascentistas se dividiam entre: (1) os sábios que adotavam uma visão neoplatônica, que desdenhavam a técnica e a invenção por estarem associadas à práticas manuais e mecânicas e não ao que se considerava a essência do ser humano: a reflexão intelectual, e (2) os sábios que valorizavam a experiência e a observação instrumental, as quais não poderiam realizar-se sem um diálogo estreito entre os homens da ciência e os artesões, técnicos que produziam instrumentos e máquinas – tais como Leonardo da Vinci (baseado em Soares, 2001, p. 49 e 50).

“Foram estes defensores da experiência e do diálogo com as ‘artes mecânicas’ que abriram espaço para o programa de organização das Ciências de Francis Bacon – que apontava claramente a importância da atividade dos artífices e mecânicos para a prática científica –, e para a síntese de concepção mecânica de mundo com a observação instrumental realizada por Galileu Galilei. [...] Na primeira metade do século XVII, a polêmica entre ‘artífices’ e os ‘cientistas’ ainda continuaria entre os próprios fundadores da Ciência Moderna, pois o filósofo René Descartes (que era o mais respeitado), coerente com a sua perspectiva neoplatônica, dedutivista e intelectualista, defendia a idéia de que o ‘progresso’ da ciência era dos ‘teóricos’ e não dos ‘técnicos’. [...] Segundo Paolo Rossi, a colaboração entre os ‘artesões superiores’ e os cientistas, no século XVII, impôs-se como uma ‘necessidade’ em diversos

setores do conhecimento, mas a ‘revalorização da técnica’ e o ‘novo prestígio social’ destes artesões (sobretudo os engenheiros) já se verificavam, desde o século anterior, em virtude da ‘maior importância econômica de alguns setores das artes mecânicas tradicionais (como por exemplo a metalurgia, a arte mineira e a navegação)’ ” (*Ibidem*, p. 51 e 52).

Assim, antes da ciência, a Engenharia era considerada arte, inicialmente voltada para aparatos militares e construção civil, cujo desenvolvimento mecânico promoveu o progresso técnico que impulsionou o progresso científico e colaborou para mudanças no cenário econômico social, as quais formaram a chamada Primeira Revolução Industrial.

É importante observar que a “Primeira Revolução Industrial não foi uma revolução científica nem uma revolução tecnológica baseadas nas ciências, mas isso não a impediu de desempenhar um papel decisivo no progresso das ciências e das técnicas” (Tamás Szmrecsányi *in* Soares, 2001, p. 157). Segundo esse mesmo autor existem cada vez menos autores que vinculam a Primeira Revolução Industrial à revolução científica, pois até mesmo o ícone dessa revolução, a máquina a vapor, foi uma invenção essencialmente empírica, cujos princípios científicos termodinâmicos foram estabelecidos muitos anos depois. E ainda, segundo esse mesmo autor (*ibidem*):

“Suas transformações mais significativas ocorreram, não no âmbito tecnológico, mas nos domínios econômicos e social [...] representou, em primeiro lugar, uma vitória do capitalismo e da burguesia sobre os sistemas sociais preexistentes [...] Através dessas mudanças, verificou-se, pela primeira vez na história, a transição de uma economia agrária e artesanal, diretamente fundada no trabalho humano, para uma economia industrial e mecanizada, com todas as consequências sociais, políticas e culturais que isto implica”.

Assim, “antes da revolução industrial podem identificar-se empresas na esfera comercial, mas a produção se faz em geral de forma doméstica ou em oficinas de dimensões reduzidas” (Kupfer e Hasenclever, 2002, p. 25). Porém, com a introdução de maquinários reunidos em um mesmo local produtivo provocou-se a transformação institucional da organização produtiva, que deixa de ser artesanal e doméstica para se tornar industrial, concentrada em grandes fábricas manufatureiras.

O progresso técnico se inter-relaciona com o desenvolvimento econômico, e ainda, a partir de então, com o progresso das ciências, tal que a Segunda Revolução Industrial⁴³: “contrariamente à Primeira, realizou-se a partir e em torno da tecnologia, e, mais precisamente de uma tecnologia com base científica” (Tamás Szmrecsányi *in* Soares, 2001, p. 200).

Como característica desse período tem-se o desenvolvimento de grandes complexos industriais e, conseqüentemente, a necessidade do desenvolvimento de uma área de conhecimento voltada para a gestão industrial. Essa área de conhecimento, almejando seu status científico, se desenvolve sob a denominação de ‘administração científica’, cujo conteúdo está incorporado ao que se denomina atualmente como Engenharia de Produção.

Assim a Engenharia de Produção nasce da necessidade de se administrar complexos industriais, de forma produtiva, tal que busca adotar uma perspectiva metodológica que se identifica com a metodologia científica, procurando estabelecer-se, assim, como ciência aplicada. Ciência essa que necessita de conhecimentos científicos multidisciplinares e ao mesmo tempo não pode prescindir da práxis, do seu lado arte com o uso da técnica empírica – por isso, pode-se considerar tanto o desenvolvimento da gestão, de uma forma geral, quanto da Engenharia de Produção, como uma mistura de ciência (aplicada) e arte, apesar da complexa relação que, normalmente, se estabelece com os cientistas que se denominam ‘puros’, que muitas vezes não admitem existir outra forma de ciência.

⁴³ Alguns autores consideram que ela ocorreu por volta de 1870 a 1930, dependendo dos países e setores considerados.

“Acho justo dizer apenas que a maioria dos cientistas puros tem ignorado tenazmente os problemas da indústria de produção, e muitos ainda o fazem. É admissível englobar cientistas puros e aplicados na mesma cultura científica. Muitas vezes os cientistas puros e Engenheiros divergem totalmente entre si. Seus comportamentos tendem a ser muito diferentes: os engenheiros são obrigados a viver suas vidas numa comunidade organizada e, por mais estranhos que possam ser por dentro, procuram mostrar ao mundo um rosto disciplinado. Não acontece o mesmo com os cientistas puros” (Snow, 1995, p. 51)

A Engenharia de Produção se desenvolve, então, associada ao pensamento científico mecanicista e co-evolui com o desenvolvimento do que certos autores denominam de “era industrial”. Assim, é de se esperar que uma mudança desse paradigma provoque mudanças tecnológicas na Engenharia de Produção.

“A era industrial e suas abordagens estão sendo rapidamente deslocadas e um novo modo de pensamento sobre o mundo está emergindo – o qual está muito além do que mera adaptação. Esse novo modo de pensamento e as teorias e abordagens que o acompanham estão emergindo do nosso despertar para novos níveis de entendimento em áreas como sistemas complexos, inteligência, informação e linguagem. [...] Como tecnologias de computadores estão sendo utilizadas para essas abordagens, nós estamos reconhecendo novos aspectos de aprendizagem, adaptação e programação de linhas de produção que não se ajustam em nossas antigas imagens de como as coisas deveriam ocorrer. [...] Alguns dos mais interessantes trabalhos na área interdisciplinar das ciências estão sendo conduzidos por um grupo de brilhantes cientistas laureados com o prêmio Nobel, economistas e peritos em computadores no *Santa Fe Institute*, em Santa Fe, Novo México. O trabalho no instituto se refere à ciência da complexidade” (McMaster, 1996, xvi - xix).

Portanto, pode-se observar que a evolução da ciência moderna (clássica), ciência, gestão e Engenharia de Produção, e demais aspectos não científicos das

humanidades, se encontram inter-relacionadas em um contexto histórico-evolutivo. Assim, uma mudança do supra-paradigma mecanicista, irá, conseqüentemente, afetar as teorias e práticas de gestão e Engenharia de Produção.

Os problemas que envolvem a economia global, inclusive do papel do trabalhador e da distribuição de riquezas, estão totalmente imbricados com a lógica e o desenvolvimento dos sistemas produtivos. A Engenharia de Produção desde seus primórdios esteve intrinsecamente relacionada com a consolidação e disseminação do paradigma mecanicista. Os problemas complexos que afetam a sociedade atual não podem ser considerados como à parte da disciplina da Engenharia de Produção.

Na realidade meso a Engenharia de Produção foi uma das principais portas de entrada para o tratamento mecanicista dessa realidade, cujas contribuições são inegáveis, mas com conseqüências complexas que afetam atualmente a humanidade. Ackoff (1999, p. 3) coloca que: “[...se] nossa sociedade, com suas instituições e as organizações que operam dentro dela, continuar tentando resolver seus problemas com os métodos antigos, será bem sucedida apenas em aumentar esses problemas”. Entende-se, então, que faz-se necessário repensar a Engenharia de Produção, em um contexto mais amplo, de transformação de pressupostos epistemológicos, tal que ela possa ser, novamente, uma das portas de entrada para soluções inovadoras de gestão, mais adequadas, dos complexos problemas da nossa sociedade.

10. PERSPECTIVAS DA COMPLEXIDADE

Introdução

“Nós vivemos um momento de uma complexidade sem precedentes, quando as coisas estão mudando mais rápido que nossa habilidade de compreendê-las [...] Enquanto o momento de complexidade inevitavelmente gera confusão e incerteza, as transformações sociais, econômicas, políticas e culturais estão criando possibilidades para apreendermos nós mesmos novos caminhos [...] A maioria dos teóricos sobre teoria da catástrofe, do caos e da complexidade concordam em não restringir as pesquisas aos fenômenos naturais e encorajam a extensão das pesquisas para os sistemas sociais, econômicos e culturais” (Taylor, 2003, p. 3 e 14).

O mundo estabelecido como um ‘sistema complexo’, traz, implicitamente, uma noção de complexidade tanto no conceito de ‘sistema’ como no de ‘complexo’.

A idéia de ‘sistema’ está associada a idéia de uma totalidade, estabelecida por um conjunto de elementos inter-relacionados segundo determinados princípios organizacionais; o seu uso comum é tanto que há a sensação de se prescindir de uma explicação do seu conceito. Entretanto, de acordo com Prigogine (*in* Enciclopédia Einaudi, 1993, p. 177):

“‘Sistema’ é um conceito de variados aspectos, onipresente, sempre carregado de juízos de valor, quer positivos, quer negativos; e isto tanto quando designa um *estado de conhecimento* [um sistema formal, representacional, que expressa o conhecer] como quando designa o seu *objeto* [um sistema real, o ser em si]”.

Como exemplo do sistema como um estado de conhecimento tem-se o ‘sistema de Ptolomeu, de Copérnico e de Brahe’, que buscam representar o ‘sistema solar’, que é objeto em si.

Sabe-se que o paradigma mecanicista apoiou-se fundamentalmente no sistema teórico de Newton: “Newton era um homem ambicioso. Buscava nada mais nada menos que ‘o sistema do mundo’. A teoria do todo” (Stewart, 1991, p. 15).

Com base no capítulo anterior e em Érdi (2008, p. 4 a 6) pode-se afirmar que por meio do mecanicismo a noção de sistema passa a ser associada à idéia de um conjunto de elementos objetivamente discerníveis, cujas propriedades podem ser precisamente definidas pela análise separada de seus elementos e identificação de relações lineares de simples causa e simples efeito, as quais estão inseridas em uma ordem claramente definida e estável, onde pequenas mudanças na causa geram pequenas mudanças no efeito sem provocar uma mudança qualitativa no comportamento do sistema, tal que, o seu estado futuro possa ser exatamente determinado – normalmente utilizando-se a matemática, neste caso as equações diferenciais.

Nessa perspectiva, desvios de resultados previstos do sistema eram atribuídos apenas a falhas do sistema de dados, inadequação dos instrumentos de precisão, perturbações externas significativas, ou ainda, à necessidade apenas de um refinamento do sistema de conhecimento sem alterar seus pressupostos básicos.

Mas, “o desenvolvimento na mecânica quântica e biologia mudaram significativamente o entendimento Newtoniano de sistemas” (Morçol, 2002, p. 155). Porém, o autor reconhece que: “A mecânica quântica abalou o determinismo [newtoniano] em um nível profundo, mas suas implicações podem ser desconsideradas por ser ‘muito remota sua efetividade em nossas vidas’ [pelo menos no nível conceitual atual]” (*ibidem*, p. 194).

Assim, é o reconhecimento de uma dinâmica mais complexa nos organismos vivos, que é percebida no nível meso, que leva à necessidade de uma abordagem diferenciada de sistemas, mais complexa. Isto resultou, nas décadas de 50 e 60, na disseminação da Teoria Geral de Sistemas, que parte de um enfoque biológico e

surge com a intenção de ser “uma **metaciência**, a qual, conseqüentemente, prometia unificar todas as ciências” (Flood e Carson, 1993, p. 3).

A proposta de uma Teoria Geral de Sistemas surge em torno do período da Segunda Grande Guerra e, apesar de sua proposta fundamentada em sistemas biológicos, que são reconhecidamente sistemas complexos, seu desenvolvimento inicial, imbricado com os conceitos da cibernética, ficou delimitado principalmente a abordagens matemáticas analítico-reducionistas, o que contribuiu para restringir sua pretensa abrangência. Entre outras razões, isto pode ser devido à ausência de recursos teóricos e computacionais adequados, que permitiriam entender e visualizar melhor a não-linearidade e a interação simultânea de muitas variáveis. Contudo, a contribuição da Teoria Geral de Sistemas, com seus postulados e sua evolução, deve ser considerada para o entendimento das perspectivas da complexidade e a abordagem de sistemas complexos, pois sua repercussão nos sistemas sociais, em especial nos sistemas de gestão de sistemas produtivos, foi, e ainda é significativa.

Os fundamentos e a evolução da Teoria Geral de Sistemas podem contribuir para estabelecer o amálgama necessário para unir as novas e diversas contribuições das perspectivas da complexidade, e ainda, servem como referência para a discussão sobre propostas de uma ‘Teoria Geral da Complexidade’. Os elementos da Teoria Geral de Sistemas estão abordados no item 10.1.

Quanto ao termo ‘complexo’ – do sistema complexo –, está associado à noção de complexidade, cujo conceito, como já visto, não possui unanimidade.

Apesar de diferentes disciplinas ou áreas de investigação estarem se debatendo com problemas similares ao se depararem com sistemas com comportamentos que não são explicados ou previstos nos moldes da abordagem mecanicista, os quais são comumente associados a sistemas complexos⁴⁴, as explicações do que seria complexo além de divergir podem ser inadequadas, principalmente quando há uma

⁴⁴ Conforme Érdi (2008, p. 4) existem muitas disciplinas que se relacionam com questões da complexidade: complexidade computacional, complexidade econômica, complexidade organizacional, complexidade política, complexidade social etc.

tentativa de expressá-la matematicamente com o intuito de estabelecer uma hierarquia de sistemas complexos, considerando que a complexidade cobre o vasto território entre a ordem e o caos. “Rochas e frangos são todos complexos, mas complexos de diferentes maneiras, são todos qualitativamente diferentes... Talvez a complexidade resida na própria definição da hierarquia e não seja intrínseca ao sistema” (baseado em Pagels, 1990, p. 40, 63, 75, 76, 78, 80 e 81).

Conforme Morin (2001, p. 52):

“Com efeito, qualquer sistema organizador (vivo), mesmo o mais simples, combina um número muito grande de unidades da ordem de bilhões, quer de moléculas numa célula, quer de células no organismo... Porém, a complexidade não compreende apenas quantidades de unidades e interações que desafiam as nossas possibilidades de cálculo; compreende também incertezas, indeterminações, fenômenos aleatórios. A complexidade num certo sentido tem *sempre contato com o acaso*. Assim, a complexidade coincide com parte de incerteza, quer mantendo-se nos limites do nosso entendimento quer inscrita nos fenômenos. Mas a complexidade não se reduz à incerteza, *é a incerteza no seio de sistemas ricamente organizados*. Ela relaciona sistemas semi-aleatórios cuja ordem é inseparável dos acasos que lhes dizem respeito. A complexidade está portanto ligada a certa mistura de ordem e desordem, mistura íntima, ao contrário da ordem/desordem estatística, onde a ordem (pobre e estática) reina ao nível das grandes populações e a desordem (pobre, porque é pura indeterminação) reina [no nível] das unidades elementares”.

Questões relacionadas a interações recursivas não-lineares em sistemas abertos, que dificultam uma pré-determinação de um resultado (estado futuro), são consideradas como um conceito central pela maioria dos teóricos da complexidade. Também é bom lembrar que, normalmente, associados à idéia de não-linearidade são tratados os conceitos de emergência ou características emergentes, auto-organização e dinâmica evolucionária geradora de padrões não previsíveis.

Porém, a questão crucial é como a complexidade afeta o nível meso, de tal forma que possa efetivamente contribuir para alteração do paradigma mecanicista. Assim, a complexidade deve ser considerada em multi-níveis, tal que “a complexidade em um nível da organização pode coexistir com a simplicidade em outro [independente da direção hierárquica de agregação dos sistemas]” (Bunge, 2006, p. 63).

Como já citado, para tornar o tema mais polêmico, certos autores, ao considerar a complexidade como sendo relativa ao nível de análise, discutem inclusive o conhecimento do observador. Por exemplo, Morçol (2002, p. 153) ao analisar a classificação de Perrow que distingue empresa ‘interativamente linear’ de empresa ‘interativamente complexa’, afirma que uma empresa classificada como ‘linear’ pode ser considerada complexa de uma diferente perspectiva.

Assim, para entender sistemas com comportamento complexos faz-se necessária uma abordagem teórica diferenciada, mais complexa. Conforme Einstein (*in* Shimon, 2003, p. 7): “É a teoria que decide o que podemos observar”.

Considerando, conforme já argumentado, que uma proposta de mudança de paradigma sob a influência da complexidade deve se desenvolver sob as perspectivas das ‘explicações científicas’ (que envolve as ciências da complexidade e sua relação com a complexidade na ciência) e da ‘abordagem do pensamento’ (que explora contribuições para um pensamento ‘mais’ complexo), estas perspectivas são exploradas nos itens 10.2 e 10.3 respectivamente – após a discussão sobre a Teoria Geral de Sistemas no item 10.1.

10.1. Sistemas Complexos e Teoria Geral de Sistemas: potencialidades e limitações e sua relação com a Gestão

O conhecimento do mundo, ao ser dividido em diferentes disciplinas, estabelece dificuldades para lidar com o ‘todo’, sendo então, de certa forma esperado, que surgisse alguma proposta que pudesse interligar e transpassar as diferentes disciplinas e suas barreiras, que se desenvolveram ao longo do tempo.

Também somam-se as questões que sistemas biológicos e sociais, incluindo a gestão organizacional, apresentam complexidades que não podem ser tratadas satisfatoriamente por análises reducionistas, nos moldes das análises físico-químicas, sendo que até mesmo determinados fenômenos da natureza inanimada não se rendem à abordagem mecanicista – entretanto, até então, opor-se ao mecanicismo seria opor-se à ciência.

“A situação das *ciências biológicas* nunca foi tranqüila. Os biólogos não queriam que o estudo do ser vivo ficasse fora do âmbito da ciência e se esforçavam por trabalhar de acordo com o modelo da ciência vigente. Mas reconheciam a insuficiência desse modelo para uma abordagem científica da natureza viva” (Vasconcelos, 2002, p. 94).

Enquanto a teoria física se esforçava para evitar tratar a complexidade como tal, voltando-se para as dinâmicas simples, deterministas e previsíveis, com relações lineares de causa e efeito e uso de análises reducionistas – apesar de encontrarem a complexidade na realidade meso (com a termodinâmica), na macro (com a teoria da relatividade) e na micro (com a física quântica) –, a biologia sempre teve que se deparar com sistemas complexos, de caráter evolucionista, com uma dinâmica que não podia ser reduzida a equações lineares, o que contrariava até uma das questões polêmicas na física, a entropia.

“No final do século XIX, a mecânica newtoniana, a ciência das trajetórias eternas, reversíveis, tinha sido suplementada por duas visões diametralmente

opostas da mudança evolutiva – a de um mundo vivo desdobrando-se em direção à ordem e complexidade crescentes [teoria da evolução], e a de um motor que pára de funcionar, um mundo de desordem sempre crescente [termodinâmica do equilíbrio, dos sistemas fechados]. Quem estava certo, Darwin ou Carnot?” (Capra, 1996, p. 54).

O biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy, no ocidente capitalista, deu o primeiro passo para tratar essa questão ao propor, por volta da década de 1920, que os organismos vivos devem ser vistos como ‘sistemas abertos’ – dentro de uma linha de desenvolvimento denominada biologia organicista ou organísmica –, isto porque, necessitam trocar energia, matéria e informação com seu meio para permanecerem vivos em “estados estacionários” dentro de um equilíbrio dinâmico (baseado em Capra 1996, p. 54 e Flood, 2003, p. 29 e 30).

A abordagem sistêmica, com contribuições de outras áreas (como a filosofia de Hegel), no intuito de desenvolver conhecimentos generalizáveis da dinâmica de sistemas complexos, ou seja, que seriam aplicáveis às diversas áreas do conhecimento, se desenvolveu de forma mais estruturada na economia capitalista, no período em torno da Segunda Guerra, em duas principais vertentes, que se entrelaçam à medida que se desenvolvem: a Cibernética e a Teoria Geral de Sistemas.

“Várias obras, elaboradas em circunstâncias isoladas, revelaram-se básicas para fundamentação da cibernética. É o caso do trabalho de Cannon (1929) sobre homeostase e do trabalho de Shanon (1933) sobre a informação. No início da década de 40, iniciou-se um movimento, liderado pelo matemático americano Norbert Wiener, que se fundamentava na ‘convicção de que as áreas mais fecundas para o desenvolvimento das ciências eram aquelas que foram negligenciadas como terra-de-ninguém entre os vários campos estabelecidos’. [... Os participantes da equipe do Dr. Wiener] Por volta de 1947 decidiram que seu trabalho tinha definido um novo campo do esforço científico e batizaram essa ciência de cibernética. O primeiro aspecto que

deve ser ressaltado, quanto ao próprio surgimento da cibernética é o seu caráter *interdisciplinar*⁴⁵” (Fleury, 1974, p. 33 e 34).

A cibernética, batizada como a ciência da comunicação e do controle, de sistemas naturais e artificiais, estabelece uma estreita relação entre controle e comportamento do sistema, com o intuito inicial de se estabelecer regulação sobre o mesmo. “É interessante notar que a Cibernética não costuma ser chamada de teoria sistêmica, ao passo que a expressão é freqüentemente utilizada quando se faz referência à Teoria Geral de sistemas” (Vasconcellos, 2002, p. 194).

Praticamente de forma paralela à cibernética, Bertalanffy ampliou sua abordagem de sistemas abertos e propôs sua aplicação nas diversas disciplinas⁴⁶. Para tanto, desenvolveu sua proposta da Teoria Geral de Sistemas que, conforme ele próprio, foi apresentada pela primeira vez em um seminário no ano de 1937 (segundo Bertalanffy, 1977, p. 127). Mas sua maior repercussão ocorreu nos anos 1950 e 1960, tal que, em 1954, foi fundada a Sociedade para o Progresso da Teoria Geral de Sistemas, que se transformou em 1957 na Sociedade de Pesquisa Geral de Sistema⁴⁷, sendo seus fundadores: um membro da área biológica (Bertalanffy), um psicólogo-neurofisiologista (Ralph Gerard), um economista (Kenneth Boulding) e um matemático (Anatol Rapaport).

Na década de 1960 Bertalanffy, já reconhecido em vários países europeus, começa a fazer conferências nos EUA e Canadá; em 1967 organiza seus escritos e publica em 1968 seu livro mais conhecido: Teoria Geral de Sistemas (baseado em Vasconcelos, 2002, p. 192 e 193).

Enquanto a cibernética florescia nos EUA, Bertalanffy tinha conhecimento dela na Europa e incorporava suas contribuições, pois em suas publicações cita os trabalhos

⁴⁵ Grifo do autor deste trabalho.

⁴⁶ O que faz com que seja caracterizado como um movimento interdisciplinar, com vocação transdisciplinar – essa discussão sobre esses termos será apresentada no capítulo sobre pensamento ‘mais’ complexo.

⁴⁷ Apesar de surgir inicialmente como *Society for Advancement of General Systems Theory*, e ter sido alterada em 1957 para *Society for General System Research*, desde 1988 essa associação é denominada por *International Society for Systems Sciences*.

de ciberneticistas⁴⁸, em contrapartida o trabalho de Bertalanffy parecia ser ignorado pelos ciberneticistas, pois ele não foi citado nos principais livros publicados por esses até 1956 (baseado em *ibidem*, p. 192).

A Teoria Geral de Sistemas coloca-se como precedente da engenharia de sistemas, e se posiciona de forma mais ampla do que a cibernética, delimitando-a a um caso especial de sistema de controle, de auto-regulação:

“A teoria dos sistemas não surgiu do esforço realizado na última guerra [Segunda Grande Guerra], mas remonta a tempos muito anteriores e tem raízes inteiramente diferentes dos equipamentos militares e realizações tecnológicas afins. Tampouco houve uma emergência da teoria dos sistemas partindo de recentes progressos na análise dos sistemas de engenharia, exceto em um sentido especial da palavra. A teoria dos sistemas é também freqüentemente identificada com a cibernética e a teoria do controle. Também isso é incorreto. A cibernética enquanto teoria dos mecanismos de controle na tecnologia e na natureza, fundada nos conceitos de informação e retroação, é apenas uma parte da teoria geral dos sistemas. Os sistemas cibernéticos são um caso especial, embora importantes, dos sistemas que apresentam auto-regulação” (Bertalanffy, 1977, p. 35 e 36).

Assim, a Teoria Geral de Sistemas de Bertalanffy é desenvolvida com a intenção de se estabelecer como uma abordagem ampla, geral, envolvendo questões que atravessam as fronteiras disciplinares, se posicionando como uma disciplina que desenvolve princípios básicos ‘interdisciplinares’, que, em proposta, seriam mais amplos que a proposta de interdisciplinaridade da cibernética, a qual, argumenta-se, seria parte integrante da Teoria Geral de Sistemas.

Bertalanffy chega até a estabelecer uma diferenciação entre a teoria de sistemas em um sentido amplo, que tem o caráter de uma ‘ciência básica’, e sua correlata ‘ciência

⁴⁸Incluem tradicionalmente: Norbert Wiener, Claude Shannon, Warre McCullough, Gregory Bateson e sua esposa Margaret Mead, John von Newman, Heinz von Foerster, e ainda, Ashby, Weaver, Koerstler etc..

aplicada’, que, conforme ele, é as vezes denominada de Ciência dos Sistemas⁴⁹ [que tem uma profunda ligação com a cibernética]– cujo conteúdo estaria voltado para engenharia de sistemas (envolvendo automação), pesquisa operacional e até a ergonomia (baseado em Bertalanffy, 1977, p. 75 a 78 e 128 a 129).

É interessante observar que, conforme Vasconcellos (2002, p. 187), o próprio Bertalanffy entendia a contribuição da cibernética na abordagem sistêmica como sendo uma tendência mecanicista, ou pelo menos mais próxima dela, por se voltar para a reprodução de mecanismos de comunicação e controle dos seres vivos – os quais eram considerados como ‘caixa preta’ – com o intuito de construção de autômatos simuladores, ou seja, máquinas artificiais. Em contrapartida, os princípios da Teoria Geral de Sistemas seriam considerados mais organicistas, por estarem voltados para sistemas vivos, como um todo.

Essa distinção não deve desvalorizar o papel da cibernética na evolução das ciências das humanidades e das aplicadas, e ainda, no desenvolvimento das ciências da complexidade. Pois, principalmente em razão das conferências Macy realizadas entre 1946 e 1953 – de caráter interdisciplinar e com ambição de edificar uma ciência da mente principalmente com base na cibernética –, houveram contribuições que estavam à frente dos recursos teóricos e computacionais da época, tais como: Von Newman ao discutir a lógica dos autômatos aborda a questão da complexidade, prevendo que ela se tornaria a grande questão da ciência futura⁵⁰; Langmuir e sua noção de fenômenos ‘divergentes’ antecipa o conceito de sensibilidades às condições iniciais da teoria do caos; a exploração do conceito de auto-organização por Von Foerster, que exerceu grande influência sobre Henri Atlan e Francisco Varela (com base em Dupuy, 1996, p. 9, 10, 81 e 100).

⁴⁹ É curioso que essa denominação seria mais apropriada como abordagem mais ampla do que a denominação ‘teoria geral de sistemas’, tanto que a associação para estudos de sistemas, fundada por ele, adotou a partir de 1988 a denominação de associação Internacional das Ciências dos Sistemas, por entender que essa denominação é mais adequada para expressar um caráter mais abrangente.

⁵⁰ Stephen Hawking também afirmou (Complexity Digest 2001/10, 5 March 2001): “Eu acredito que o próximo século [XXI] será o século da complexidade”.

Conforme Capra (1996, p. 56 a 65), os cibernicistas não eram biólogos mas matemáticos, neurocientistas e engenheiros que procuravam padrões organizacionais nos seres vivos e formas de programar esses padrões em máquinas. Com o objetivo maior de entender o funcionamento do cérebro, com base em uma lógica matemática de processamento de informação, geraram o desenvolvimento dos computadores. Vasconcellos (2002, p. 193) chega a considerar que: “na confluência entre a Cibernética e a Teoria Geral de Sistemas, a Cibernética teve primazia ...”, devido à sua influência prática em outros campos científicos, inclusive o social.

Um conceito central da cibernética é o feedback ou retro-alimentação, voltado para laços causais que estabelecem auto-regulação e auto-organização dos sistemas. É interessante salientar que, mecanismos auto-reguladores, conhecidos como servomecanismos, já haviam sido projetados e aplicados na prática antes do conceito de feedback. Por exemplo, segundo Érdi (2008, p. 8):

“O grego Ktesibios, que viveu na Alexandria, revolucionou a medição do tempo com a construção de um relógio de água. Para alcançar seu objetivo ele teve que inventar uma válvula reguladora para manter o nível de água em um tanque em um nível constante”.

E ainda, conforme Capra (1996, p. 61), engenheiros no século XVIII utilizaram servomecanismos para o controle de máquinas a vapor. Porém, até o surgimento da cibernética o padrão de causalidade circular não fora reconhecido conceitualmente. A primeira discussão sobre laços de realimentação foi publicado por Norbert Wiener e co-autores em 1943.

O enfoque no controle sobre desvios do padrão desejado, típico de padrão de auto-regulamentação homeostático presente em seres vivos, fez com que a caracterização dos sistemas focasse os circuitos de laços de retro-alimentação negativa, que visam o equilíbrio. Essa abordagem foi denominada de primeira cibernética. Quando na década de 1960 caracterizaram-se também os laços de amplificação de desvios, também chamados de auto-reforço ou de retro-alimentação positiva, passou-se a

utilizar diagramas para uma análise ampliada entre interações positivas e negativas, estabelecendo a noção de causalidade mútua que foi amplamente utilizada por cientistas sociais. Essa abordagem foi denominada de segunda cibernética – a qual, entende-se, insere a representação da não-linearidade na dinâmica de sistemas.

“Laços de realimentação são padrões abstratos de relações embutidos em estruturas físicas ou atividades de organismos vivos. Pela primeira vez na história do pensamento sistêmico, os cibernicistas distinguiram claramente o padrão de organização de um sistema [... de] sua estrutura física” (Capra, 1996, p. 65).

A Teoria Geral de Sistemas, procurando se estabelecer como uma metaciência, propõe desenvolver metamodelos válidos para todos os sistemas, em geral. “Assim, a teoria geral de sistemas se propõe como uma ciência da totalidade, ou como uma disciplina lógico-matemática⁵¹ [ou seja, semelhante à uma ciência formal] aplicável a todas as ciências que tratam de ‘todos organizados’ ” (Vasconcelos, 2002, p. 196).

Esse caráter de sobreposição às outras ciências – nos moldes das ciências formais, que mesmo fazendo uso das existentes se difere das mesmas –, e a intenção de se desenvolver uma visão de mundo organicista tendo a biologia como a ciência básica central, estão representados na figura 29 – deve-se observar na figura que o contorno da Teoria Geral de Sistema está pontilhado, o que insinua que sua proposta, como tal, não se consolidou na prática, com será visto à frente.

Uma curiosidade é que no período dos anos de 1950 e 1960 a biologia que inspirou a abordagem sistêmica, voltou-se para uma abordagem reducionista-mecanicista em função do avanço da biologia molecular, em especial devido ao sucesso em decifrar o código genético (baseado em Capra, 1996, p. 75).

⁵¹ “A teoria geral de sistemas, no dizer do seu criador, Ludwig Von Bertalanffy, é ‘uma disciplina lógico-matemática, em si mesma puramente formal, mas aplicável às diversas disciplinas empíricas... chamada a desenvolver um papel análogo ao que desempenhou a lógica aristotélica na ciência da Antiguidade” (Japiassu e Marcondes, 2006, p. 255).

Figura 29: Teoria Geral de Sistemas como proposta de uma metaciência

Dois aspectos na figura 29 merecem ser mais explorados: (1) a proposta do desenvolvimento da computação (informática) como uma ciência formal (ciência da computação), pois dada a sua importância e sua evolução – com tratamento formal de dados/informações em linguagens próprias, campo de pesquisa e de ensino próprio, com reconhecimento acadêmico – impacta, de forma recorrente, não só a teoria geral de sistemas mas a sociedade como um todo, sendo por isso que se sugere estabelecê-la como ciência e não como um mero instrumento tecnológico; e (2) o posicionamento do conteúdo da Teoria Geral de Sistemas como predominantemente relacionado às dimensões meso.

(1) Conforme sugere Arsac (1995, p. 93), a informática – que surge nos fins dos anos 40 com foco em realização de cálculos numéricos – parece que seguiu um caminho semelhante ao da termodinâmica, no qual a fabricação das máquinas precedeu o campo de conhecimento cientificamente reconhecido, ou seja, a técnica precedeu a ciência. Só que no caso da informática esse processo é bem mais

complexo, pois seu desenvolvimento científico extrapola o conhecimento do equipamento em si, ou seja, a construção do computador, e envolve uma campo abstrato de representação computacional, com conceitos lógicos próprios para tratar a informação – aqui se encaixa bem o termo tecnociência. Segundo Davis (2004, p. 16), Von Newman [um cibernicista] compreendeu que “uma máquina de computação é, na realidade, uma máquina lógica”. Ao se sugerir que a ciência da computação seja uma ciência formal, não pretende estabelecê-la como uma ciência acabada, mas como em desenvolvimento – tal como tem se mostrado qualquer ciência.

O desenvolvimento da Engenharia de Sistemas – com enfoque na lógica computacional – incorporou e disseminou tanto a idéia de sistema como os elementos conceituais básicos da Teoria Geral de Sistemas:

“O computador constitui, sem dúvida, um fator importante para a divulgação da palavra [sistema]. Tendo sido construído dentro de um esquema sistêmico, utilizando-se de termos tais como sistema operacional, sistemas de arquivos, gerando profissões tais como analista de sistemas, engenheiro de sistemas, o computador praticamente impôs às pessoas que o utilizavam, a noção das palavras que ele introduzia. Assim, sistema, input, output, feedback, interface, foram se tornando palavras usuais” (Fleury, 1974, p. 1).

A computação desde seu nascimento vai estar imbricada com o conceito de sistema e com o entendimento da dinâmica de sistemas complexos. Em um primeiro momento como objeto composto por sistemas e como recurso instrumental para programas com iterações seqüenciais simulando dinâmicas de sistemas com enfoque linear, mas que se desenvolve chegando a se transformar até mesmo em um meio ambiente virtual, tornando-se um laboratório para dinâmica de sistemas complexos.

Essa relação – sistemas e computadores – no início do desenvolvimento da teoria de sistemas tendeu a limitar o entendimento da abordagem sistêmica, principalmente na gestão organizacional, a soluções computacionais:

“No início dos anos de 1970 quando solicitei a gestores, em cursos curtos de sistemas, para escreverem qual a idéia transmitida pela frase ‘abordagem de sistema’ eu usualmente identifiquei que muitos imaginavam que era uma abordagem que envolvia necessariamente o uso de computadores na solução de problemas” (Checkland, 2002, p. 5).

(2) É incontestável a influência das idéias provenientes da Teoria Geral de Sistemas nos mais diversos campos de conhecimento na realidade meso, a despeito da aplicabilidade efetiva de seus conceitos e do real alcance de resultados. Destaca-se sua influência principalmente na área de gestão organizacional, pois raramente se encontra um texto mais abrangente sobre gestão organizacional que não se utiliza de conceitos relacionados a sistemas.

“A teoria de sistemas abertos influenciou profundamente a maneira como as organizações são concebidas e, conseqüentemente, gerenciadas. Ela ajudou a formatar o gerenciamento e a teoria organizacional nos anos de 1950 e 1960. Ela ainda permeia as práticas gerenciais atuais” (Flood, 2003, p. 4).

A perspectiva de sistemas abertos influenciou cientistas sociais no desenvolvimento da escola ‘sócio-técnica’⁵² de sistemas, cuja perspectiva buscava integrar questões técnicas da estrutura do trabalho e questões sociais no trabalho, como o processo de participação das pessoas na organização e decisões do trabalho (baseado em Eijnatten, 1993, p. 30 e 31). E apesar do conteúdo da escola sócio-técnica ser considerado por alguns como uma abordagem mais pragmática, técnica, do que um corpo teórico no sentido acadêmico, deve-se lembrar que seu desenvolvimento envolve o estudo dos grupos semi-autônomos em atividades produtivas, atrelado ao conceito de emergência. Assim, mesmo que sua literatura seja bastante fragmentada, seu desenvolvimento tenha ocorrido de forma heterogênea em diferentes países e continentes, e ainda, que seu conteúdo venha a ser considerado apenas um ramo à parte da Teoria Geral de Sistemas, a perspectiva sócio-técnica e sua influência na

⁵² A perspectiva sócio-técnica surge numa relação imbricada da ciência social com as ciências aplicadas no campo organizacional, mas como uma área de estudo de sociólogos.

gestão de sistemas produtivos se faz presente até os dias atuais⁵³ (baseado em *ibidem*, p. 2, 3, 13, 16, 113, 166 a 168).

A Teoria Geral de Sistemas se desenvolve com a proposta de lidar com a complexidade utilizando-se de instrumentos lógico-matemáticos. E seu desenvolvimento concomitante com a cibernética e a computação fez com que na prática a sua resposta, principalmente aos problemas organizacionais, se voltasse predominantemente para soluções computacionais ou de lógicas racionais de diagramação envolvendo interações de causa e efeito linear, normalmente determinadas matematicamente. Ou seja, a Teoria Geral de Sistemas “direcionou-se para análises quantitativas *hard*, as quais, subseqüentemente, foram consideradas inapropriadas para a maioria das situações sociais” (Flood e Carson, 1993, p. 3).

Conforme Checkland (2002, p. A3 a A6, e A48), a abordagem sistêmica da Teoria Geral de Sistemas, com seus conceitos, princípios e técnicas de modelagem de sistemas com base matemática, direciona-se para o desenvolvimento de soluções de problemas de gestão relacionados à dinâmica organizacional do dia a dia. Isto, no âmbito organizacional, estaria associado a processos de decisões voltados para alcançar determinados objetivos de forma eficiente – enfoque atribuído principalmente à influência na época de Hebert Simon no pensamento gerencial, e corroborado na época por Ackoff (um dos fundadores da Pesquisa Operacional).

É esse o tipo de pensamento sistêmico no ambiente corporativo que passa a ser identificado como abordagem *hard*. Essa abordagem está associada ao tratamento de sistemas pelo enfoque da Engenharia, no sentido clássico, voltada para o desenvolvimento de modelos que estabeleçam soluções otimizadas, os quais tratam as organizações como objetos independentes das questões humano-organizacionais, e ainda, com o pressuposto do estabelecimento de objetivos racionalmente e quantitativamente bem definidos, sem ambigüidades.

⁵³ Também é interessante observar que o desenvolvimento atual das ciências da complexidade está bastante envolvido com as contribuições de analistas sociais sobre a dinâmica de sistemas sociais, só que envolvendo maior quantidade de agentes.

A abordagem *hard* na gestão está inicialmente relacionada com os esforços de aplicar os métodos de solução provenientes da área de Pesquisa Operacional⁵⁴ (P.O.), desenvolvidos na Segunda Grande Guerra, e ainda, com a idéia de sistemas de controle generalizada pela cibernética, que tem a finalidade de alinhar a performance do sistema com as metas objetivamente pré-determinadas para o sistema (estabelecidas externamente a ele). Essas soluções tiveram, e ainda têm larga aplicação nos sistemas produtivos – no gerenciamento de cadeia de suprimentos, na programação da produção e de materiais, principalmente quando a realidade produtiva se aproxima de pouca variação de produtos, grandes lotes e recursos dedicados.

Essa abordagem, segundo Flood e Carson (1993, p. 20), é adequada para contextos que eles caracterizaram como *hard*, que seriam aqueles que podem ser facilmente estruturados, com definições claras e sem controvérsias, relativamente fáceis de medir e quantificar, que se comportam de acordo com leis bem definidas e, conseqüentemente, possuem alto grau de previsibilidade. Esses aspectos caracterizam situações bastante limitadas na complexa vida real, mas apesar disso, segundo Checkland (2002, p. 73) a visão da pesquisa operacional pela sua sociedade oficial é: “Pesquisa Operacional é a aplicação de métodos da ciência para *problemas complexos*⁵⁵ elevando-se em direção à gestão de sistemas amplos de homens, máquinas, materiais e dinheiro na indústria, negócios, governo e defesa”.

Nessa linha de desenvolvimento *hard*, na abordagem de sistemas, considera-se as várias soluções de Engenharia de Sistemas (E.S.) – a qual considera-se associada à Análise Sistemas (A.S.) com a contribuição do modelo da RAND Corporation – desenvolvidas nessa época principalmente para a gestão de informações nas empresas, utilizando-se a lógica e o recurso de mainframe, onde há um elemento central de: planejamento, armazenamento de dados, processamento, comando e decisão, segundo regras estabelecidas matematicamente, com a idéia de linearidade, ordem e controle.

⁵⁴ Com foco em programação linear.

⁵⁵ Grifo do autor.

Será incluída, também, nessa abordagem (*hard*), a Dinâmica de Sistemas (D.S.) de Jay Forrester, publicada originalmente em 1961 no seu livro intitulado *Industrial Dynamics*.

“Forrester desenvolveu um conjunto de ferramentas e uma abordagem para simulação que veio se tornar conhecida como dinâmica de sistemas. Estas ferramentas foram baseadas naquelas usadas por engenheiros de controle para analisar a estabilidade de sistemas de controles mecânicos [sistemas hidráulicos] e elétricos [...] Embora originalmente pretendido para uso no setor industrial, o método também foi aplicado em outras áreas [...]” (Pidd, 1998, p. 165).

Como último exemplo ilustrativo dessa abordagem *hard*, considera-se importante incluir a Cibernética Organizacional (C.O.) de Stafford Beer. Conforme Flood (2003, p. 37), Beer associa variedade⁵⁶ à complexidade, e o seu objetivo é a redução de variedade do sistema, não com o intuito de simplificar, mas de torná-lo mais previsível. Ou seja, a modelagem de Beer leva em consideração a teoria da variedade requerida, de Ashby, “segundo a qual só podemos obter controle quando a variedade do controlador ... é pelo menos igual à variedade da situação a controlar” (Beer, 1979, p. 55).

O modelo de Beer tem sua origem essencialmente na utilização da lógica cibernética para controlar o sistema em níveis hierárquicos integrados, entretanto reconhece-se que ele passa a discutir cada vez mais – nas obras subsequentes à sua obra inicial de 1959: cibernética na administração – a importância de times de trabalho e participação das pessoas nos processos de decisão, inclusive com o aprimoramento do seu modelo: ‘modelo de sistemas viáveis’ (*Viable System Model* – VSM). Mas devido a essência de sua proposta original ser fundamentada em uma sistemática integrada de controle com base na cibernética, a Cibernética Organizacional (C.O.) será mantida como abordagem sistêmica *hard*.

⁵⁶ “Em cibernética chamamos variedade ao número de itens distinguíveis, ou estados distinguíveis de algum item” (Beer, 1979, p. 55).

No final dos anos de 1960 e ao longo dos anos de 1970, houveram muitas críticas à Teoria Geral de Sistemas por não haver alcançado suas amplas promessas, tanto no mundo das ciências ditas ‘puras’, ou de base, quanto no mundo corporativo, ou seja das ciências aplicadas (baseado em Checkland, 2002, p. 93 e Flood e Carson, 1993, p. 3). “O Eclipse do pensamento sistêmico no âmbito da ciência pura tornou-se tão completo que não foi considerado uma alternativa viável. De fato a teoria sistêmica começou a ser vista como um malogro intelectual em vários ensaios críticos” (Capra, 1996, p. 75).

“Por volta de 1970, devido às falhas óbvias do sistema de pensamento *hard*, a comunidade de sistemas encontrava-se em algo equivalente a uma crise” (Jackson, 2005, p. 17).

Observe-se um relato excessivamente crítico da época, citado por Capra (1996, p. 75), de Robert Lilienfield, publicado em 1978:

“Os pensadores sistêmicos exibem uma fascinação por definições, conceitualizações e afirmações programáticas de uma natureza benévola, vagamente moralizante... Eles coletam analogias entre os fenômenos de um campo e os de outro... as descrições (dessas analogias) parecem oferecer a eles um deleite estético que é sua própria justificação... *Não há evidências que a teoria sistêmica tenha sido utilizada para se obter a solução de nenhum problema substancial em nenhum campo em que tenha aparecido*⁵⁷”.

Mas como o próprio Capra (*ibidem* e p. 76) argumenta “A última parte dessa crítica não é mais, em definitivo, justificada atualmente [...] e pode ter sido muito radical até mesmo na década de 70”. Nas ciências biológicas houve, entre outras contribuições da abordagem sistêmica, o reconhecimento dos organismos vivos como sistemas abertos, os laços de feedback como mecanismo de homeostase e o desenvolvimento dos modelos cibernéticos para compreensão dos processos neurais; nas ciências sociais aprimoraram-se as idéias de redes de relacionamentos, dos processos de

⁵⁷ Grifo do autor deste trabalho.

comunicação com laços de feedback positivo e negativo, entre outras; na computação, praticamente surgiu uma ciência; e na gestão é impossível desprezar os sistemas de planejamento e controle de materiais para produção, com lógica linear, utilizados satisfatoriamente até hoje em dia em larga escala pelas empresas produtoras de bens, assim como, a perspectiva de sistemas de negócios que levou ao conceito de *suplly chain*, e posteriormente ao de redes de negócios. E ainda, a terminologia e os conceitos fundamentais desenvolvidos pelas abordagens sistêmicas se impregnaram nos diversos campos do saber, fazendo com que muitos desses campos expandissem suas perspectivas conceituais e até mesmo de pesquisa, voltando-se para um caráter sistêmico.

Capra (*ibidem*) é incisivo quanto à principal causa desse ‘malogro’: a ausência de recursos matemáticos e computacionais adequados para tratar a não-linearidade, principalmente da natureza dos seres vivos. Mas, entende-se que se deve expandir essa avaliação para questões mais amplas do pensamento, de um pensamento ‘mais’ complexo, não se limitando apenas aos recursos formais para modelagem da dinâmica dos sistemas. Tal que, a complexidade dos seres vivos deve ser entendida de forma relacionada à complexidade dos sistemas sociais, incluindo organizações humanas produtivas e na forma de instituições, e ainda, à co-evolução desses sistemas em um contexto planetário.

O interessante é que se percebe a partir dos anos de 1970 duas reações quanto às críticas sobre a abordagem sistêmica: (1) a do campo de gestão organizacional e (2) a das ciências de base, em geral.

A reação relacionada à gestão (1), foi como era de se esperar: a criação de novos modelos para solução dos problemas considerados mais complexos, partindo-se do princípio de que houve aprendizado do que não funcionava no modelo anterior. Assim surgiu a abordagem sistêmica *soft* para solução de problemas organizacionais que não permitiam uma parametrização estruturada e que, de alguma forma, deveriam considerar a participação das pessoas nos processos de decisão. Essa reação é facilmente percebida no nível meso, pois as suas críticas da Teoria Geral de

Sistemas estavam relacionadas ao desempenho na gestão, que está totalmente inserida no nível meso da realidade prática do dia-a-dia.

Quanto à reação das ciências de base (2), também considerada como esperada, o que aconteceu inicialmente foi um distanciamento parcial da preocupação interdisciplinar, aprofundando-se os estudos dentro de cada disciplina de aspectos considerados na abordagem sistêmica, pois, tradicionalmente, se resolve problemas científicos em uma área, com ‘mais’ ciência nesta área. Várias frentes exploraram temas comuns dentro da dinâmica de sistemas, mas cada uma com foco na sua disciplina, sendo um dos principais temas comuns a idéia de auto-organização. Isso não quer dizer que iniciativas ‘interdisciplinares’ não se mantiveram, mas o foco predominante voltou-se a estudar as dinâmicas sistêmicas profundamente em cada disciplina, onde as descobertas de propriedades dinâmicas seriam, então, compartilhadas com as demais. Assim, entende-se que cada disciplina, orgulhosamente, disputaria o papel de ser a referência de uma Nova Teoria Geral de Sistemas – mesmo que não houvesse consciência ou declaração formal dessa questão.

Considerando esses aspectos, passou-se da construção de uma abordagem sistêmica *top-down* unificada para *bottom-up* pluralista, dentro das diferentes ciências de base e correlatas. Apesar de essa reação envolver o nível meso, a resposta da ciência normalmente se desenvolve de maneira mais lenta até afetar a realidade do dia-a-dia. E ainda, a dispersão das contribuições, com novos conceitos e diferentes recursos de modelagem, não propiciam um entendimento imediato dessas contribuições como vertentes de uma abordagem sistêmica. Esse fenômeno tende a se reverter a partir dos anos de 1990 com a discussão científica sobre a ‘teoria do caos’ (e a nova matemática da não-linearidade) e sobre a, muitas vezes denominada ‘teoria da complexidade’ (com recursos computacionais avançados e uso de heurística), onde o discurso de padrões de dinâmicas organizacionais, com a possibilidade de aplicação geral, volta à realidade meso do dia-a-dia, mas com uma pluralidade que dificulta um entendimento organizado das diversas contribuições – questão que será tratada neste trabalho sob a denominação de ‘ciências da complexidade’.

Assim, este período de críticas sugere uma necessidade crescente de uma maior complexidade na abordagem sistêmica. Essa decorre, inicialmente, do entendimento que o comportamento complexo dos sistemas passa a exigir uma maior complexidade na ‘modelagem da dinâmica de sistemas’. Da mesma forma, os princípios e conceitos decorrentes do aprendizado sobre o comportamento dos próprios sistemas e sua modelagem, que são reunidos sob a denominação de ‘pensamento sistêmico’, passam a ser freqüentemente revisitados para alteração, devido à complexidade que se depara ao tratar diversos sistemas dinâmicos vivos. A modelagem da dinâmica de sistemas e o pensamento sistêmico, desenvolvendo-se no campo organizacional e dentro de cada ciência em geral, nem sempre estiveram em concordância, o que nos leva ao reconhecimento do desenvolvimento da complexidade na abordagem sistêmica.

As questões anteriores podem ser visualizadas na figura 30, cujas idéias principais exploradas são apresentadas adiante:

Figura 30: Complexidade na abordagem sistêmica

Principais idéias sintetizadas na figura 30:

- Os sistemas complexos sempre foram um desafio para o paradigma mecanicista, tal que sofreu diversos abalos, mas permaneceu dominante até os dias recentes.
- A abordagem sistêmica se desenvolve com o propósito de ser uma alternativa ao mecanicismo, ganhando expressão com a Teoria Geral de Sistemas e a cibernética, havendo paralelamente na gestão organizacional contribuições específicas, como a da escola sócio-técnica de sistemas dos cientistas sociais.
- A evolução da abordagem sistêmica, nos moldes matemáticos e computacionais, entra em crise por volta dos anos 70. A crise leva a dois tipos de reações: (1) no campo gerencial, que passa a buscar outros modelos sistêmicos para solução dos problemas organizacionais; (2) nas ciências em geral, que buscam um distanciamento parcial da proposta unificadora e se aprofundam em seus próprios campos com uma abordagem mais sistêmica.
- Passa a haver uma complexidade no desenvolvimento de modelos sistêmicos e no pensamento sistêmico, envoltos em uma ambiente de crítica. Tudo isso ocorre concomitantemente – de forma concorrente, antagônica e complementar – ao predominante paradigma mecanicista, que cada vez mais se torna inadequado para as novas abordagens sistêmicas.

No mundo corporativo, ou seja, no campo gerencial, houveram vários tipos de críticas sobre a Teoria Geral de Sistemas, entre elas haviam as que consideravam seus conceitos e princípios gerais muitas vezes vagos, gerando diferentes interpretações e analogias inadequadas.

Considerou-se que a proposta da Teoria Geral de Sistemas, de uma lógica matemática abstrata aplicável em diferentes campos, não se aplicava a certas situações organizacionais complexas. A realidade corporativa, envolvendo dinâmicas competitivas de mercado, redes de negócio, disputas internas de poder, julgamentos de valor etc., apresentava uma complexidade onde o aparato sistêmico existente – princípios e modelagem – não se mostrava efetivo. A Pesquisa Operacional

encontrou suas limitações para lidar com essa complexidade organizacional em diferentes níveis. Assim, a evolução do contexto organizacional, a natureza humana e suas interações complexas afetavam a lógica *hard*.

Segundo Gharajedaghi (2006, p. 22), nos anos de 1970 um dos fundadores da Pesquisa Operacional, Ackoff, declarou: “o futuro da Pesquisa Operacional é passado”, em função de reconhecer que a mesma assume que os agentes envolvidos nos sistemas são passivos ou reativos, sem considerá-los como tendo escolhas. Da mesma forma, conforme Flood (2003, p.62), Churchman, outro co-fundador da Pesquisa Operacional, tornou-se insatisfeito com o desenvolvimento dessa área no período que chamou de ‘sombrios anos de 1960’, não tanto com relação ao conteúdo para determinadas aplicações, mas quanto às suas limitações.

Checkland (2002, p. A6, A7 e A55), diante das críticas da abordagem *hard*, considera que as aplicações da abordagem tradicional da metodologia da engenharia de sistemas podem até ser adequadas para certas condições estruturadas onde existem objetivos bem definidos quantitativamente, comunicações limitadas e uma linha de autoridade de comando fortemente respeitada, como ainda é o caso de certos sistemas de produção. Mas, afirma o autor, que as situações gerenciais por ele vivenciadas eram muito complexas para serem tratadas pela abordagem de engenharia de sistemas, por envolverem, por exemplo, objetivos mal definidos e até antagônicos.

Flood (2003, p. 46) apresentou a seguinte situação em que a abordagem *hard* passou a ser questionada no meio industrial: depois da Segunda Guerra Mundial a demanda cresceu e a produção respondeu, tal que, este tipo de problema proposto foi adequado à tecnologia da Pesquisa Operacional. Mas já nos anos de 1960 a capacidade cresceu mais que a demanda, e as preocupações dos líderes organizacionais voltaram-se para novas questões estratégicas, envolvendo competição para captação da demanda e criação de novas demandas. As técnicas da Pesquisa Operacional mostraram-se inadequadas para esses problemas, passando a ser consideradas como úteis apenas

para problemas nos níveis baixos de gestão, que tratariam de questões mais estruturadas e com menos incertezas.

Diante dessas questões corporativas, certos pensadores da abordagem sistêmica, voltados para soluções de problemas nas organizações, desenvolveram novos métodos sistêmicos com o intuito de conduzir a solução de problemas de forma mais adequada à complexidade na dinâmica das organizações. Esta nova abordagem passou a ser denominada de *soft*, como uma contraposição à abordagem anterior.

A abordagem sistêmica *soft* na gestão considera contribuições que valorizam as questões humanas, seus interesses, valores e diferentes percepções, que afetam os processos de decisões nas organizações, tal que se volta mais para uma abordagem interpretativa da realidade.

De certa forma, a contraposição *hard* x *soft* representa a discussão quanto à adequação, ou não, da aplicação da metodologia científica, na sua origem mecanicista das ciências naturais, às questões sociais. Também associa-se à abordagem *hard* um enfoque funcionalista e, distintamente, associa-se à abordagem *soft* um enfoque interpretativo.

Após refutar a aplicação generalizada da Pesquisa Operacional aos problemas organizacionais, Churchman, a partir dos anos de 1960, apresenta contribuições mais filosóficas sobre a importância de questões éticas e morais nos sistemas organizacionais e inicia um movimento sobre a necessidade de um pensamento sistêmico crítico. Conforme Jackson (2005, p. 141), uma contribuição decorrente da influência de Churchman foi a proposta de Mason e Mitroff para o estabelecimento de decisões estratégicas: *Strategic Assumption Surfacing and Testing* (SAST). Da mesma forma Ackoff, nos anos de 1970, propõe uma forma de planejamento interativo que envolva os afetados pelos resultados do planejamento (baseado em Flood e Carson, 1993, p. 3, Checkland 2002, p. 143). Apesar dessas propostas terem abordagens *soft*, contribuindo para construção de novos princípios que envolvem a

dinâmica organizacional, as mesmas não procuraram estabelecer um modelo de aplicação geral.

Também houveram outras contribuições nessa linha *soft*, como a de Geoffrey Vickers, que, conforme Checkland (2002, A48 a A56), apresentou uma abordagem diferenciada do pensamento dominante de Herbert Simon, denominada de *Appreciative Systems Theory* (A.S.T). Essa teoria, apesar de também não apresentar um modelo representativo, possuía condições para tal, era voltada para uma abordagem de aplicação geral nas organizações e teve grande influência no desenvolvimento do modelo denominado de *Soft Systems Methodology*, que tem Checkland como seu principal patrono, difundido como a maior referência da abordagem *soft* para aplicação de maneira geral na gestão organizacional a partir dos anos 80.

Nessa linha interpretativa, com base na psicologia cognitiva que tenta compreender como os seres humanos raciocinam a respeito de suas experiências, desenvolveram-se técnicas dentro de uma perspectiva metodológica denominada de Mapeamento Cognitivo (M.C.). Criada inicialmente com foco em construtos pessoais para organização de conceitos, o que leva certos autores a não considerar essa abordagem sistêmica (Pidd, 1998, p. 140 e 163), essa abordagem é, no entanto, ampliada e utilizada com diferentes metodologias⁵⁸ tal que, pode ser reconhecida como uma abordagem sistêmica dentro do enfoque interpretativo sistêmico *soft*, estando neste aspecto de acordo com a visão de Paúcar-Cáceres (*in* Ragsdell *et al*, 2002, p. 21).

Assim, a abordagem sistêmica *soft* surge para tratar de problemas mal estruturados, ou considerados como confusos, voltando-se mais para o aprendizado no processo de

⁵⁸ Algumas das metodologias são: para representação sistêmica de idéias/conceitos na negociação de construtos com a finalidade de obtenção de uma apreciação compartilhada de uma situação, que pode levar a uma intervenção comprometida do problema (metodologia SODA – *Strategic Options Development and Analysis*); para organização sistêmica de conceitos com a finalidade de propor uma organização do sistema de conhecimento sobre determinado assunto científico ou não (Mapas Conceituais); para comunicação empresarial de assuntos gerais, como estratégia, utilizando recursos pictóricos inter-relacionados (Mapas Visuais); e ainda, para condução de dinâmicas de aprendizagem coletiva, com enfoque auto-organizado e emergente (Mapas de Aprendizagem), e ainda, usos combinados desses métodos.

solução com o envolvimento das pessoas, do que na sistematização do processo em si (baseado em Flood e Carson, 1993, p. 108 e Checkland, 2002, p. A10).

Entretanto, conforme Jackson (2005, p. 202 a 207), faz-se necessário reconhecer que a abordagem *soft*, tal como a *hard*, possui limites quanto à sua aplicabilidade aos problemas organizacionais, principalmente quanto a situação problemática envolver design de sistemas complexos e quando figurar conflitos significativos ou coerção no processo participativo. Também se questiona que ao buscar agir no nível das idéias, procurando modificar coisas por meio da mudança da visão do mundo das pessoas, essa abordagem pode não ser efetiva por não serem consideradas as estruturas envolvidas – sejam organizacionais, políticas ou econômicas. Mas, assim como na abordagem *hard*, a abordagem *soft* tem contribuído para a solução de muitos problemas organizacionais ao longo do tempo.

Baseado em Flood e Carson (1993, p. 98), e Checkland (2002, p. A48), a tabela 32 a seguir apresenta as principais diferenças das abordagens *hard* e *soft*.

Tabela 32: Abordagens sistêmicas *hard* x *soft*

Abordagem <i>Hard</i>	Abordagem <i>Soft</i>
Aceita a idéia de problemas existirem de forma clara e bem definida, onde objetivos e desvios são de entendimento comum a todos (foco em objetivos)	Aceita pluralidade dos entendimentos e interesses humanos, assumindo que existem mais situações problemáticas percebidas do que problemas bem definidos, tal que essa pluralidade pode ser expressa em termos sistêmicos, e ainda, acredita haver objetivos mal definidos, por existir normalmente uma combinação de problemas, e que desvios podem ser interpretados de diferentes maneiras (foco em relacionamentos)
Assume que na intervenção dos problemas eles podem ser resolvidos de forma definitiva, eficiente e sistemática, havendo total controle sobre o sistema	Assume que na intervenção de uma situação problemática busca-se reduzir o desconforto entre os envolvidos

A idéia de sistema é voltada para descrever o mundo real – entende o objeto como sistema e como complexo	A idéia de sistema é voltada para pensar sobre a situação problemática – entende o processo de conhecimento do objeto como sistema e as pessoas como complexas
--	--

A partir de então muitas contribuições de abordagem sistêmica se dividiram entre *soft* e *hard*, enquanto outras procuram abordar ambas simultaneamente, como é o caso da famosa obra sobre aprendizagem organizacional: “A quinta disciplina”, de Peter Senge. A repercussão dessa obra traz de volta a importância do pensamento sistêmico nos anos de 1990 e procura estabelecer um conjunto de diagramas envolvendo ‘padrões de dinâmicas’ de sistemas de eventos (arquétipos), representados qualitativamente por laços (inter-relações) negativos e positivos de eventos, muitas vezes distantes no tempo (no estilo da dinâmica de sistemas da abordagem *Hard*). Também inclui a idéia de construir objetivos comuns (visão compartilhada), a questão do desenvolvimento pessoal, da existência de diferentes perspectivas da realidade em função de modelos mentais próprios, e ainda, da importância do trabalho em equipe (bem no estilo da abordagem sistêmica *soft*).

Os elementos dessa proposta possuem no seu discurso a abordagem sistêmica como pano de fundo; assim, procura-se manter o pensamento sistêmico como linha mestra de sua proposta. Por utilizar os diagramas do tipo dinâmica de sistemas, combinados com questões humanas, individuais e coletivas, sugere-se considerar esta proposta como ‘*midlle*’, que procura equilibrar a abordagem *hard* com a *soft*.

É interessante observar que pode se considerar como precursora da abordagem *middle* a perspectiva clássica da escola sócio-técnica de sistemas que, apesar de não surgir como proposta abrangente, busca conciliar aspectos *hard* (como a divisão do trabalho influenciada pela abordagem tradicional taylorista) e aspectos *soft* (que procuram incluir participação do trabalhador em certos níveis de decisão do trabalho em equipe) (baseado em Eijnatten, 1993, p. 9 e 158).

Também a partir dos anos 1990 tornam-se conhecidas propostas de estudiosos da abordagem sistêmica com uma visão mais crítica, que são voltadas para uma maior

abrangência e estão associadas a conceitos e princípios que seriam ‘libertadores’ (*emancipatory*), por considerarem questões sociais mais amplas envolvidas nas soluções dos problemas, como distribuição de riqueza e até mesmo questões ambientais, em função de se afetar gerações futuras. Ao mesmo tempo, desenvolvem-se outros estudos, alguns até incorporando a abordagem ‘libertadora’, com uma proposta ‘multi-metodológica’ (*multimethodology*) onde diferentes metodologias poderiam ser usadas de acordo com a situação, individualmente, simultaneamente ou de forma combinada (baseado em Paúcar-Cáceres, in Ragsdell *et al*, 2002, p. 20 a 26 e Flood e Carson, 1993, p. 253).

Essas abordagens ainda são de difícil classificação, ou talvez sempre continuem a ser, pois refletem um aumento da complexidade na abordagem sistêmica. Mas com base na proposta de alguns autores, propõe-se considerar a evolução das questões conceituais e a adoção de princípios ‘críticos’ associados à noção de ‘Pensamento Crítico de Sistemas’⁵⁹ (*Critical Systems Thinking*), ou ‘Pensamento Sistêmico Crítico’, que seria uma evolução do pensamento sistêmico. Quanto aos novos modelos, com sugestões de sistemáticas metodológicas, sugere-se associá-los à idéia de ‘Prática da Crítica de Sistemas’⁶⁰ (*Critical Systems Practice*). Tal sugestão classificatória não tem a pretensão de dar preferência a propostas que adotaram esses títulos e deve-se considerar que determinadas propostas podem contemplar ambas as abordagens em profundidade (baseado em Paúcar-Cáceres, in Ragsdell *et al*, 2002, p. 20 a 26 e em Jackson, 2005 p. 301 e 302).

Assim, considerando a administração como ciência, percebe-se o reconhecimento do aumento de complexidade para ‘modelagem da dinâmica’ de sistemas organizacionais, havendo até mesmo a aceitação de um certo pluralismo metodológico para tal. Ou seja, percebe-se uma complexidade dentro da própria ciência da administração, com uma diversidade de modelos, aos quais somam-se cada vez mais novos insights para novas modelagens decorrentes de estudos de dinâmicas não-lineares de sistemas complexos oriundos de outras áreas científicas,

⁵⁹ Sob essa perspectiva propõe-se incluir: *Critical Systems Heuristics* (CSH), de Ulrich.

⁶⁰ Sob essa perspectiva propõe-se incluir: *Total System Intervention* (TSI) de Flood e Jackson

estudos que seriam reunidos sob o que se pretende denominar ‘ciências da complexidade’.

Ao mesmo tempo, o ‘pensamento sistêmico’ necessita caminhar para um ‘pensamento mais complexo’, que insere os problemas organizacionais em um contexto sócio-eco-sistêmico, que se alinha com a proposta de pensadores que entendem como necessária a aproximação da ciência e da filosofia, para o desenvolvimento da ciência com mais consciência, como sugere o próprio título do livro de Edgar Morin: *Ciência com Consciência* – referência bibliográfica: Morin, 1996a –, sendo Morin o proponente de uma proposta que agrupa novos conceitos e princípios norteadores para a formação de pessoas voltada para o futuro, de forma mais ampla e consciente, denominada pensamento complexo.

Neste ponto, onde sistemas e complexidade estão considerados de forma imbricada, torna-se interessante retomar a visão evolutiva de Herbert A. Simon (baseado em Simon, 2001, p. 169, 170 e 181), a qual considera a evolução pelo interesse na complexidade e nos sistemas complexos, no século XX, ocorrendo em três estágios:

(I) Após a Primeira Grande Guerra, quando o interesse na complexidade focou a idéia que o ‘todo transcende a soma das partes’, com o enaltecimento do ‘holismo’ numa postura fortemente anti-reducionista – que está relacionada com a abordagem de ‘sistemas abertos’ pela biologia nos anos de 1920 e ao desenvolvimento da psicologia da Gestalt;

(II) após a Segunda Guerra, quando a postura diante do reducionismo foi mais neutra, o foco eram os laços de feedback voltados para a estabilização, ou seja, para manutenção dos sistemas complexos – era a época do desenvolvimento da cibernética e da elaboração e disseminação da Teoria Geral de Sistemas, no período em torno dos anos de 1940 [apesar de não ser explorado por Simon, devem-se considerar dentro dessa fase os desdobramentos da TGS, inclusive os decorrentes da crise dos anos de 1970];

(III) e a época considerada atual, que seria em torno do ano 2000 [considerando que a edição do livro é de 2001], cujo foco é analisar, descrever, criar e manter a complexidade. Tal que, por ter a complexidade um conteúdo muito amplo, o interesse está em determinadas classes de sistemas complexos – muitos deles bem abrangentes como a sociedade mundial ou o ecossistema como um todo – com fortes propriedades ‘complexas’ que permitam teorização e generalização, o que parece refletido pela diversidade de novos modelos e conceitos associados: teoria do caos, celulares autômatos, algoritmos genéticos etc. [o que se aproxima do que está sendo proposto como ‘ciências da complexidade’]

Simon (*ibidem*, p. 174) chega a afirmar que as novas modelagens (com a nova matemática e algoritmos computacionais) devem ser acompanhadas de novas maneiras de pensar. Da mesma forma, Pagels (1990, p. 16) afirma que o desenvolvimento das novas ciências da complexidade impõe novas categorias de pensamento. Assim, pode-se concluir que a evolução na abordagem de sistemas, que está relacionada com a questão da modelagem de sistemas, requer no avanço do seu estágio atual uma forma cada vez ‘mais’ complexa de pensar.

Uma representação esquemática dos inter-relacionamentos das contribuições apresentadas anteriormente e sua evolução ao longo do tempo, com foco maior no desenvolvimento da abordagem sistêmica na gestão, está apresentada na figura 31 – que pode ser considerada um detalhamento da figura 30, incorporando as informações posteriores a essa figura.

Figura 31: Evolução da abordagem sistêmica na gestão

Com base no processo evolutivo da abordagem sistêmica de Herbert Simon, a transição do estágio II para o III é algo recente, ou ainda está em andamento. Assim, somado ao fato de não haver uma organização geral reconhecida, com um enfoque epistemológico, da composição e definição do que seriam as ciências da complexidade, é natural uma certa confusão quando se propõe lidar com a classificação de recentes contribuições relacionadas ao estudo de dinâmicas de sistemas complexos, principalmente quando aplicadas ao campo organizacional e das ciências sociais.

Relacionada ao estágio III, a contribuição que teve uma grande repercussão, a partir dos anos de 1990 (como será abordado com mais detalhes no item 10.2), é a 'teoria do caos'. Assim, a teoria do caos é algumas vezes, precipitadamente, identificada como a referência única, ou predominante, para tratar a dinâmica de sistemas complexos, tal que, associado à ela estaria todo o corpo de conhecimento relacionado às novas formas de modelagem de sistemas complexos. Isso leva a alguns autores

mais incautos a considerar que a denominação ‘teoria da complexidade’ é apenas uma variação semântica da ‘teoria do caos’, a qual é utilizada quando o corpo de conhecimento da teoria do caos – originário principalmente da matemática – é estendido a outras áreas, como sistemas sociais e organizacionais. Existem também autores que, ao considerarem outras contribuições posteriores do estágio III, as quais utilizam recursos de modelagem como autômatos celulares e algoritmos genéticos, enquadram a teoria do caos como sendo uma abordagem *hard* nos moldes tradicionais da abordagem da Teoria Geral de Sistemas, tal que, não faria parte de um estágio mais evoluído no tratamento de sistemas complexos.

Na linha de submeter diferentes contribuições atuais de estudos sobre sistemas complexos como sendo um desenvolvimento da teoria do caos, está o consagrado autor que estuda a teoria geral de sistemas e suas propostas relacionadas: Michael C. Jackson (baseado em Jackson, 2005 p. 115 e 116). Apesar de citar contribuições de diferentes áreas, tende a unificá-las sob os principais conceitos oriundos da teoria do caos, fazendo referência a essas idéias como sendo os elementos chaves do que ele entende ser uma ‘teoria da complexidade’ – possível reflexo da própria dificuldade de situar a teoria do caos em relação a uma teoria da complexidade existente no conteúdo do livro introdutório de Gleick, que é uma das principais, e poucas, referências desse autor no campo da complexidade. A proposta, apesar de ser uma tentativa interessante de uma organização de conceitos relacionados à complexidade, apresenta uma certa superficialidade na abordagem dos conceitos. Quanto à aplicação no campo gerencial, Jackson utiliza apenas idéias sugeridas por outros autores do campo organizacional que estudaram a complexidade (em especial Ralph Stacey), e ainda, de uma forma crítica, a abordagem de consultores na tentativa de aplicar a ‘teoria da complexidade’ – que no texto apresentado se demonstra mais voltada para propostas correntes na teoria organizacional recheadas com jargões superficiais associados a conceitos da complexidade (baseado em Jackson, 2005, p. 123 a 128).

Também é interessante observar que esse autor, logo na introdução de seu livro, apresenta uma classificação de abordagens sistêmicas utilizadas na gestão

organizacional, na qual a sua proposta de ‘teoria da complexidade’ é uma abordagem classificada na mesma categoria que a abordagem *hard* decorrente da Teoria Geral de Sistemas, tanto que o autor conclui que a ‘teoria da complexidade’, como ele entende ser, apesar de contribuir com novos conceitos que podem enriquecer o pensamento sistêmico, principalmente de forma metafórica, não se trata de uma abordagem realmente inovadora. Afirma que o futuro da teoria da complexidade no campo gerencial estaria mais bem garantido se seu escopo se limitasse ao que ele define como ‘paradigma funcionalista’ das abordagens sistêmicas tradicionalmente *hard*, e ainda afirma, com base na citação de outro autor, que no campo científico ela tem muito que fazer para ser validada no domínio dos sistemas naturais e sociais (baseado em Jackson, 2005, p. xxii, 129, 130 e 132).

Sob o enfoque sociológico, no qual sociedades são vistas como sistemas complexos, a evolução da abordagem sistêmica possui uma perspectiva própria, relativa ao cabedal de conhecimentos das ciências sociais. Nesta perspectiva, tanto a Teoria Geral de Sistemas quanto as contribuições mais recentes de estudos da dinâmica de sistemas complexos são estabelecidas como referenciais no processo evolutivo de ‘teorias de sistemas sociais’ por autores mais contemporâneos como Robert Keith Sawyer.

Sawyer (baseado em Sawyer, 2005, p. 12 a 26) considera a evolução do pensamento sistêmico sociológico em três estágios: o primeiro estágio, com foco em estrutura e estabilidade, está relacionado à apropriação de conceitos da [1^a] cibernética em uma abordagem funcional-estruturalista, com um enfoque reducionista, com um conteúdo específico desenvolvido dentro da disciplina sociológica⁶¹; o segundo estágio, segundo o autor, tem foco na dinâmica e mudança (utilizando metáforas de modelos das ciências naturais e da matemática), possuindo um caráter mais ‘interdisciplinar’, engloba a influência da Teoria Geral de Sistemas e a teoria da autopoiese⁶², que são fundamentadas na dinâmica biológica e utilizam também de preceitos da cibernética [da 2^a], e também, ao lado dessas teorias, inclui neste estágio a teoria do caos – por

⁶¹ A referência é Talcott Parson.

⁶² A autopoiese de Maturana e Varela tem sua principal aplicação ao sistemas sociais desenvolvida por Niklas Luhmann.

ser, no entendimento do autor, uma proposta geral que pretende se prestar a qualquer nível de análise, a qual engloba conceitos que seriam universalmente aplicáveis como: limite do caos, leis de potência, sensibilidade às condições iniciais, bifurcações, atratores, dinâmica não-linear, e ainda, também subordinado à teoria do caos, incluiu conceitos relacionados às estruturas dissipativas de Prigogine, tais como auto-organização, e do biólogo Kauffman do *Santa Fe Institute*, tal como *fitness landscape*; o terceiro estágio é associado às contribuições do que o autor entende como ser uma ‘teoria da complexidade’⁶³, a qual é voltada para emergência, interações de componentes e relações entre níveis de análise, e se baseia em modelos computacionais de múltiplos agentes, que surge a partir dos anos noventa com aplicação em simulações sociais – as denominadas sociedades artificiais.

Sawyer, por considerar que apenas o terceiro estágio pode proporcionar uma oportunidade de desenvolver uma verdadeira teoria de sistema social, é radical quanto à inadequação de se aplicar na realidade social as teorias com propostas universalistas oriundas das ciências da natureza e da matemática. Assim, pelo seu interesse nas explorações virtuais de modelos baseados em agentes, agrupa outras diversas contribuições que envolvem estudos de sistemas complexos sob o título de ‘teoria do caos’, colocando-as ao lado da Teoria Geral de Sistemas. Se for colocada à parte a questão da adequação, ou inadequação, das teorias aplicadas à realidade de sistemas sociais, existe não apenas uma distância no tempo entre a exploração da teoria do caos e a Teoria Geral de Sistemas, mas há também uma diferença significativa de conteúdo na abordagem sistêmica, que já seria suficiente para não serem consideradas em uma mesma categoria.

Parece que na transição para um novo estágio de abordagem de sistemas complexos, a frustração de se aplicar de forma generalizada e imediata novos conhecimentos de dinâmicas de sistemas na realidade social meso, tal como a teoria do caos, leva certos autores a tentar enquadrar esses novos conhecimentos ao lado de propostas anteriores em esquemas classificatórios já existentes.

⁶³ Conforme o autor, também denominada de ‘teoria de sistemas com dinâmicas complexas’ ou ‘teoria de sistemas adaptativos complexos’.

Tais abordagens são até justificadas por se tratar de um novo estágio na evolução da modelagem de sistemas complexos, onde novos conceitos podem não ser totalmente compreendidos ou acessados por especialistas de outras áreas, que até reconhecem a importância dos mesmos, mas ao explorá-los de maneira inadequada, superficial ou imparcial, tendem a tornar mais confuso o significado das novas abordagens e o entendimento evolutivo das contribuições do que se propõe denominar como ciências da complexidade. Essa situação pode levar até mesmo à banalização dos conhecimentos relacionados aos estudos da ‘complexidade’ de sistemas que fazem parte do estágio III da proposta de Herbert Simon. É importante salientar que não se trata de advogar em favor das ciências da complexidade, mas de considerar que do mesmo modo que não se pode adotar suas contribuições de forma indiscriminada sem uma reflexão crítica, também não se pode adotar uma posição confortavelmente crítica sem aprofundamento no seu campo de conhecimento e em aspectos epistemológicos, ainda mais quando se tenta enquadrar suas contribuições em esquemas classificatórios pré-concebidos.

Partilhando-se da perspectiva evolutiva de Herbert Simon no tratamento de sistemas complexos, entende-se que as ciências da complexidade, cuja proposta inclui a teoria do caos, fazem parte de um novo estágio na abordagem de sistemas posterior à Teoria Geral de Sistemas e seus desdobramentos. Tal que novas contribuições no campo gerencial decorrentes das ciências da complexidade podem não apenas concorrer mas também complementar as práticas gerenciais existentes, assim como, podem se mostrar inadequadas ao tentar transportá-las para o campo organizacional.

Para concluir este capítulo propõe-se retomar a discussão em torno da proposta da Teoria Geral de Sistemas:

“Em resumo, a tarefa da Teoria Geral de Sistemas é encontrar o quadro conceitual mais geral no qual uma teoria científica ou um problema tecnológico pode ser colocado sem perder as características essenciais da teoria ou do problema” (Geoffrey Vickers *in* Haines, 1998, p. 7).

Com base nessa proposta, reconhece-se que essa intenção de encontrar ‘o quadro conceitual mais geral’ falhou: “Esse projeto [Teoria Geral de Sistemas], que possibilitaria a construção de uma verdadeira unidade da ciência, revelou-se na realidade utópico” (Abbagnano, 2007, p. 1078).

Percebe-se que a falha da proposta da Teoria Geral de Sistemas está relacionada – mas não apenas – com a sua intenção inicial de uma unicidade totalizante de modelagem, com abordagem linear dos modelos clássicos da matemática. Como observou Vasconcellos (2002, p. 197) a respeito de Bertalanffy:

“Aliás, ele propôs que a teoria não só daria definições exatas dos conceitos, como também os submeteria à análise quantitativa, quando isso fosse adequado. E diz mais, que ‘os modelos usados permanecem dentro da estrutura da matemática clássica’, apesar de o conceito de sistema trazer muitos problemas ainda à espera de solução. ”

Entende-se que a idéia de um possível Paradigma Sistêmico, com base na modelagem da Teoria Geral de Sistemas e no seu Pensamento Sistêmico, falhou (ver figura 32). Morin (2001, p. 35) se refere ao malogro da Teoria Geral de Sistemas da seguinte forma:

“De um lado, mal explorou o conceito de sistema em si mesmo, satisfazendo-se nesse ponto fundamental com um ‘holismo’ vulgar. De outro, pouco explorou o lado da auto-organização e da complexidade. Permanece um enorme vazio conceitual entre a noção de sistema aberto e a complexidade do mais elementar ser vivo, que as teses de Von Bertalanffy sobre a ‘hierarquia’ não preenchem”.

Figura 32: A falha do Paradigma Sistêmico com base na Teoria Geral de Sistemas

Entretanto, não há como negar os desdobramentos da abordagem sistêmica e a disseminação de suas contribuições nas ciências em geral, e na gestão em especial, conforme argumenta Checkland (2002, p. A3):

“O fato da Teoria Geral de Sistemas ter falhado em suas aplicações não significa que o pensamento sistêmico em si tenha falhado. Ele tem prosperado em várias diferentes formas, as quais não foram antecipadas em 1954. Tem havido desenvolvimento de idéias de sistemas como tal [em um sentido geral], desenvolvimento do uso de idéias de sistemas em disciplinas específicas, e na combinação das duas”.

Conclui-se que a proposta original da Teoria Geral de Sistemas se desfaz, se transforma e se reconstrói, na medida em que a abordagem sistêmica encontrou a complexidade dos sistemas complexos, tanto na modelagem utilizada nas ciências

em geral – em especial na gestão – quanto nos seus princípios e conceitos norteadores.

Concorda-se com Morçol, (2002, p. 156) que considera a concepção de sistema uma questão central da complexidade, e como disse Churchman (1972, p. 296): “O enfoque sistêmico não é má idéia”, mas entende-se que ele deve ser considerado atualmente dentro das perspectivas da complexidade:

- Ciências da Complexidade/Complexidade na Ciência (item 10.2).
- Pensamento ‘mais’ Complexo (item 10.3).

10.2. Desenvolvimento das “Ciências da Complexidade/Complexidade na Ciência” e sua relação com a Gestão

Algumas áreas tradicionais como a física lutam por teorias para unificação, no caso, da relatividade com a quântica, mas como, em um primeiro momento, tal unificação não possui uma importância prática reconhecida, os avanços nesse sentido não contribuem de forma imediata para a transformação da visão do mundo⁶⁴.

Nas dimensões ‘meso’ surge uma pluralidade de contribuições científicas que buscam lidar com sistemas complexos, principalmente com dinâmicas não lineares, oriundas de diferentes áreas: sistemas formais (matemáticos e computacionais); sistemas da natureza (físico-químicos e biosociais); e sistemas da humanidade.

Os sistemas complexos são entendidos por muitos autores como aqueles situados entre os sistemas que envolvem dinâmicas muito simples (normalmente envolvendo poucos elementos interagindo de forma simples, de modo que seu comportamento possa ser bem entendido com explicações lineares), e aqueles sistemas com uma enorme quantidade de elementos interagindo com uma dinâmica que pode ser entendida como aleatória (como moléculas em um gás, tal que podem ser empregadas técnicas estatísticas para estudar seu comportamento). Assim, é comum situar a complexidade entre a ordem e a desordem (baseado em Casti, 1998, p. 7), ou seja, entre a ordem determinada linearmente e o caos indeterminado (baseado em Byrne, 1998, p. 1).

No que tange à abordagem científica de sistemas complexos o foco principal está na construção de modelos: “Nós teremos, talvez, uma conclusão não tão surpreendente que a criação de uma ciência de sistemas complexos é realmente uma sub-tarefa de um, e mais ambicioso, programa mais geral de criação de uma teoria de modelos” (Casti, 1994, p. 278).

⁶⁴ Mas isso não quer dizer que o desenvolvimento das teorias no nível quântico e cosmológico, assim como propostas unificadoras da quântica com a relatividade, não devam ser acompanhadas. Pois o aprofundamento do entendimento do ‘funcionamento’ do mundo pode contribuir para uma reflexão de como ‘criar’ um mundo que funcione melhor para a humanidade.

Os avanços no entendimento do comportamento de sistemas complexos estão associados ao desenvolvimento dos computadores, não apenas como instrumento, mas como um laboratório virtual, tal que a linha entre a experimentação e a teoria passa a não ser tão clara (baseado em Pagels p. 40, Casti, 1998, p. 8, Sawyer, 2005, p. 2 e Flake, 1998, p. 5 e 6). Entretanto, concorda-se com Epstein (2006, p. xiii) que, apesar de reconhecer que o computador permitiu o desenvolvimento de novos modelos, o movimento essencial é conceitual e não tecnológico⁶⁵. Assim, muitas questões não-lineares envolvidas no estudo da dinâmica de ‘sistemas sociais’ foram inicialmente tratadas sem uso do computador para formular determinadas teorias, as quais foram mais bem exploradas, e em muitos casos melhor compreendidas, posteriormente, com o uso de simulações computacionais.

Como já citado, existem diversas denominações relacionadas aos estudos da dinâmica de sistemas complexos, havendo na gestão organizacional referências freqüentes à teoria do caos e à teoria da complexidade. Com relação à teoria do caos existe um foco no conteúdo matemático para representação de uma dinâmica não-linear em processos determinísticos, cujos resultados não podem ser exatamente previstos em função de sensibilidade às condições iniciais do sistema. Enquanto a teoria da complexidade normalmente – mas nem sempre – é associada à dinâmica de modelos computacionais baseados em agentes (comumente denominados de Sistemas Adaptativos Complexos), tal que envolvem normalmente muitos elementos interagindo, incluindo interações não-lineares, cujos padrões organizacionais emergentes não são previsíveis em muitos casos. A teoria do caos é bem delimitada na sua proposta e existe uma concordância quanto à sua denominação e seu conteúdo associado⁶⁶, mas o mesmo não acontece quando se refere a uma teoria da complexidade, pois sob essa denominação muitas vezes são incluídas contribuições de outras áreas, tais como dinâmicas de fenômenos biológicos e em alguns casos a própria teoria do caos.

⁶⁵ Para tanto, Epstein cita o modelo de segregação de Thomas Schelling, que trata da dinâmica racial, publicado em 1971 sem uso de recursos computacionais.

⁶⁶ Apesar de haver cada vez mais questionamentos quanto à extrapolação de seus conceitos para outras áreas que não sejam a física e a química, tais como economia e gestão.

Assim, propõe-se utilizar a denominação de ‘ciências da complexidade’ para contemplar as diversas contribuições que buscam estudar, ‘modelizar’ e ‘conceitualizar’ a dinâmica de sistemas complexos, com conteúdo não-linear, cujo foco tem sido, primordialmente, os sistemas relacionados à realidade meso. As ciências da humanidade, e ciências aplicadas correlatas⁶⁷, têm tido, cada vez mais, primazia na busca de aplicação dos resultados dos estudos científicos da complexidade de sistemas:

“[...] vários desenvolvimentos científicos convergiram para criar uma abordagem qualitativamente mais avançada para sistemas complexos, e estes desenvolvimentos possuem implicações significativas para os cientistas sociais” (Sawyer, 2005, p. 2).

Isso não quer dizer que os estudos se resumam a essa área, mas que, cada vez mais, busca-se a extrapolação dos conceitos e princípios de dinâmicas de sistemas complexos de outras áreas para as ciências das humanidades e ciências relacionadas, o que faz com que esses novos conhecimentos impactem com mais efetividade a realidade meso.

Desta forma, as ‘ciências da complexidade’ contribuem para uma abordagem alternativa/complementar ao mecanicismo científico, para tratar a realidade de fenômenos do cotidiano. E mesmo quando abordam outras dimensões, que não a meso, como o caso de fenômenos quânticos, normalmente busca-se extrapolar os conhecimentos adquiridos para a realidade meso, preferencialmente para as ciências das humanidades.

As ciências da complexidade não possuem, pelo menos até então, uma proposta totalizante para modelagem da dinâmica de sistemas – assim como uma unicidade de conceitos e princípios –, mas, pelo contrário, incorporam até o momento uma pluralidade, onde existem aspectos equivalentes, concorrentes, antagônicos e complementares, embora predomine o reconhecimento comum de que a

⁶⁷ Que é o caso da Administração e da Engenharia de Produção.

complexidade na dinâmica dos sistemas é devida, principalmente, à não-linearidade. Obviamente, características comuns têm sido a principal preocupação para orientação geral em como lidar com a complexidade, mas a diversidade é valorizada, o que não quer dizer que certos conceitos e princípios antes estabelecidos não se tornem obsoletos.

Assim, se já havia o reconhecimento da “complexidade na ciência” (ver cap. 9), essa complexidade aumenta ainda mais com a introdução das ‘ciências da complexidade’. Elas tratam as complexidades dentro das ciências, entre as ciências e transpassando todas as ciências, apresentando uma vocação transdisciplinar de forma similar à Teoria Geral de Sistemas, mas diferente dessa, pois reconhece a complexidade da ‘complexidade na ciência’. Em outras palavras, não se trata de uma hegemonia das ciências da complexidade – o que poderia ser associado a uma idéia de não-linearidade totalizante – mas da integração e relação das ciências da complexidade com as demais ciências estabelecidas e, inclusive, com o papel da linearidade. Enfim, trata-se do reconhecimento da complexidade nas ciências, com suas contribuições diversificadas, seus aspectos especializados, e também de suas questões transdisciplinares, suas limitações e potencialidades. A complexidade nas ciências reconhece questões como as colocadas por Pagels (1990, p. 44 e 48):

“Uma coisa é encontrar teorias nas ciências, como por exemplo, as teorias da física e da biologia, outra coisa, bem diferente, é descobrir como é que essas teorias se relacionam entre si e como é que, quando consideradas como um todo, forma uma imagem da realidade. [...] Embora as linhas gerais desta nova síntese, que passa por cima das disciplinas tradicionais, não sejam ainda claras, existe já um movimento de grande amplitude. A antiga maneira de organizar as ciências já não é mais adequada. Ainda ninguém pode dizer o que vai sair do presente período de fermentação intelectual”.

Como proposta de relacionar com a realidade meso os principais desenvolvimentos científicos agrupados sob o tema “ciências da complexidade” e as ciências de base,

ressaltando a primazia das ciências das humanidades, propõe-se o esquema apresentado na figura 33.

Figura 33: Ciências da complexidade e ciências da humanidade

A popularização de conceitos e terminologia relacionados às ciências da complexidade, principalmente após a publicação da obra de Gleick – *Caos: a criação de uma nova ciência* (1990) –, tornaram suas propostas de efeitos não-lineares/não-previsíveis cada vez mais difundidas no meio acadêmico e na sociedade.

Como já observado no estudo bibliométrico, constatou-se o crescimento de publicações de artigos e livros no meio acadêmico relacionados ao tema complexidade. E, para maior difusão junto ao público geral, surgem dos estúdios de Hollywood filmes que levam títulos com termos como: *Caos*, *Efeito Borboleta*, e outros que tratam de questões sobre a sensibilidade às condições iniciais na evolução de sistemas, sem usar diretamente esses termos no título (exemplos: “*Som do Trovão*” e “*Corra Lola, Corra*”).

Assim, percebe-se que as ciências da complexidade, por surgirem no nível de dimensão ‘meso’, possuem potencialmente maior capacidade de transformação da abordagem do pensamento dominante, e, conseqüentemente, da transformação da visão do mundo.

Ressalta-se que com relação à abordagem científica da complexidade, no estágio atual das contribuições, não se pode afirmar que exista uma teoria única da complexidade (apesar de, conforme já citado, alguns autores definirem uma teoria da complexidade delimitada ao conteúdo dos sistemas adaptativos complexos); conseqüentemente ainda não há um modelo de referência relativo a uma ‘Teoria Geral da Complexidade’. Assim, deve-se procurar entender as diversas propostas das ‘ciências da complexidade’, para avaliar suas contribuições atuais e potenciais na gestão em geral, e em especial na gestão de sistemas produtivos.

Como as ciências da complexidade passam a se desenvolver dentro, entre e transpassando de uma maneira geral tanto as ciências formais (matemática e computação) quanto as ciências da natureza (físico-química e a biologia, considerada de forma ampliada) e as ciências da humanidade (e as ciências aplicadas relacionadas às humanidades), propõe-se identificar as contribuições das ciências da complexidade relacionando-as com as ciências citadas – mesmo que estas contribuições nem sempre estejam associadas ao termo complexidade.

Como proposta organizacional procura-se classificar as contribuições das ciências da complexidade nas seguintes áreas⁶⁸, cada vez mais inter-relacionadas:

- Modelos matemáticos (relacionado ao corpo de conhecimento matemático dentro da ciência formal);
- Fenômenos da natureza (que envolvem as ciências da natureza: físico-química e a biologia, incluindo aspectos bio-sociais);
- Fenômenos da humanidade (relacionados às ciências da humanidade e aplicadas correlatas);

⁶⁸ Esta proposta é uma ampliação da classificação de Guedes (1999, p. 39) das fontes de informação científica.

- Explorações virtuais (relacionadas ao corpo de conhecimento de computação dentro da ciência formal).

Esta relação entre as áreas de estudos da complexidade e as ciências está apresentada na figura 34.

Figura 34: Relação entre as áreas de estudo da complexidade e as ciências

Com base nessa proposta organizacional, diversas contribuições de caráter científico identificadas como relacionadas ao estudo científico da dinâmica complexa de sistemas estão apresentadas na figura 35. Cada uma delas foi alocada em uma determinada área pelo entendimento de ter sido esta a fonte inicial ou por ter sido a área que mais explorou inicialmente a contribuição. Entretanto, sabe-se que as teorias e conceitos podem, e normalmente têm, aplicações e desenvolvimentos em diversas áreas de conhecimento. Assim dependendo da abordagem e fontes de pesquisa podem haver diferentes sugestões para classificação, assim como certas contribuições podem não estar incluídas. Na sequência, a figura 38 apresenta, sem pretender ser completa, autores relevantes de cada contribuição.

Figura 35: Ciências da complexidade: proposta de organização

Figura 36: Ciências da complexidade: autores relevantes

Como está havendo uma proliferação de teorias relacionadas ao tema, sabe-se que tais figuras (35 e 36) são esquemas que representam apenas um possível estágio de desenvolvimento, o qual possui grande possibilidade de estar, ou logo se tornar, incompleto. Assim, essas figuras não passam de propostas temporárias relativas à evolução de um tema tão dinâmico, pois “a organização dos conhecimentos muda continuamente e são móveis as fronteiras das ciências” (Menezes, 2005, p. 15).

“[A] proliferação de versões de uma teoria é um sintoma usual de crise. [...] a crise, ao provocar uma proliferação de versões [alternativas] do paradigma, enfraquece as regras de resolução dos quebra-cabeças da ciência normal, de tal modo que acaba permitindo a emergência de um novo paradigma.” (Kuhn, 1997, p. 98 e 110).

As ciências da complexidade fazem parte de um contexto mais amplo: “A ciência é igualmente complexa porque é inseparável do seu contexto histórico social” (Morin, 1996a, p. 8), assim, a idéia de que as ciências da complexidade contribuem ainda mais para a complexidade na ciência está representada na figura 37.

Figura 37: Ciências da complexidade e complexidade na ciência.

Vale, neste ponto, ressaltar a diferença entre ‘complexidade da ciência’ e ‘complexidade na ciência’. A primeira diz respeito à complexidade dos modelos, com suas teorias, equações subjacentes e um caráter predominantemente disciplinar, enquanto a ‘complexidade na ciência’ envolve as ciências como um todo e as relações entre as próprias ciências, com seus aspectos comuns, antagônicos e concorrentes, e envolve também a relação entre as ciências e seu contexto, tanto em uma perspectiva histórico-evolutiva quanto em relação aos saberes não-científicos das humanidades.

Como já observado no estudo das produções acadêmicas internacionais que exploram o tema complexidade, houve inicialmente um enfoque grande na teoria do caos, sendo que recentemente há uma tendência de se abordar os sistemas organizacionais humanos, e conseqüentemente as organizações dos sistemas de produção, por meio de ‘modelos baseados em agentes’ [com referência a Sistemas Adaptativos Complexos – SAC] e de uma “teoria de *networks*”. Porém, os conceitos nesses campos se inter-relacionam com as outras diversas contribuições relacionadas ao tema complexidade, e ainda, são freqüentes as publicações que buscam explorar conceitos derivados da teoria do caos e fractais na realidade social. É importante lembrar que muitos temas estão em intenso desenvolvimento e, naturalmente, poderão englobar outros.

As contribuições dentro das áreas de estudo das ciências da complexidade possuem muitas vezes inter-relacionamentos – intra e inter – que podem fazer com que as contribuições existentes sejam transformadas, complementadas ou substituídas por um novo conhecimento, podendo-se entender que certas contribuições podem se tornar mais relevantes do que outras.

Um ‘conceito central’ na discussão das ciências da complexidade é: interação não-linear, a qual está associada à imprevisibilidade do sistema. Surgem como ‘principais

conceitos operacionais⁶⁹: emergência, auto-organização e dinâmica evolucionária, que podem ser entendidos como conceitos chaves nas ciências da complexidade. Tais conceitos merecem ao menos uma breve discussão sobre como estão sendo abordados por um enfoque científico, a qual será realizada à frente. Percebe-se que por serem conceitos chaves também são considerados como noções fundamentais para um pensamento ‘mais’ complexo – como será visto.

Entende-se que, sem desmerecer os demais temas, os tópicos utilizados com maior referência para tratar a dinâmica complexa das organizações empresariais são:

- Teoria do Caos
- Fractais
- Leis de potência
- Estruturas dissipativas
- Co-evolução/*Fitness landscapes*
- Autopoiese
- Modelos Baseados em Agentes
- Teoria de *Networks*

Essas referências serão discutidas apenas de forma sintetizada, pois, para serem abordados com a profundidade que merecem, cada um desses temas justificaria o conteúdo de um livro, o que tornaria a apresentação um desafio além do escopo deste trabalho. Assim mesmo, algumas informações complementares sobre estes tópicos, e alguns outros adicionais, estão apresentadas no apêndice D.

Conceito Central

Interação não linear

⁶⁹ Guedes (1999, p. XXXV) também sugere três conceitos equivalentes, como considerados comuns para os diversos sistemas complexos: “... a auto-organização dinâmica, a emergência de padrões e a submissão aos imperativos evolucionários.”

Quando se refere à não-linearidade, causas e efeitos não podem ser mapeados linearmente; causas semelhantes podem gerar diferentes efeitos; pequenas mudanças nas causas podem gerar grandes efeitos enquanto grandes mudanças podem gerar pequenos efeitos (baseado em Fuchs, 2008, p. 12).

Para os sistemas lineares valem os *princípios da aditividade e da proporcionalidade*, que podem ser combinados em um só, chamado de *princípio da superposição de efeitos*. Em sistemas não lineares não valem, em geral, esses princípios (baseado em Monteiro, 2002, p. 45). Ou seja, de forma simplificada, a não-linearidade é o fenômeno dinâmico no qual o todo difere das soma das partes (baseado em Scott, 2007, p. 4).

O desenvolvimento dos recursos computacionais e conceituais para tratar a não linearidade tem possibilitado alterar nossa percepção da realidade, em diversas áreas, e conseqüentemente nossa visão de mundo. Assim, por meio da perspectiva não linear “nós começamos a ver como um comportamento complexo significativo pode surgir de umas poucas e simples (não-lineares) regras” (Kelso, 1995, p. 2).

Ao associar as ciências da complexidade a um comportamento de sistemas com uma dinâmica não-linear, é de se esperar que hajam propostas alternativas ao título de ‘ciências da complexidade’ como: ‘ciência não-linear’ (*Nonlinear Science*), ou ‘ciência da não-linearidade’ (baseado em Scott, 2007, p. vii). Entretanto, “como Stanislaw Ulam observou: ‘Chamar uma ciência de *não-linear* é como chamar zoologia do *estudo dos animais não-humano*’. Isto significa que quase todo sistema é complexo, dinâmico e não-linear por natureza” (Orsucci, 2002, p. vii).

Com o propósito de melhor elucidar uma perspectiva ‘científica’ não-linear serão apresentadas algumas características de fenômenos não-lineares fundamentadas na teoria ‘sinérgica’ de Haken (baseado em Knyazeva in Carvalho e Mendonça, 2003, p. 98 a 100):

- Sob certas condições a não-linearidade pode fortalecer flutuações.

- Certos sistemas abertos não-lineares possuem limites de sensibilidade, abaixo do qual tudo diminui e desaparece e, ao contrário, acima do limiar tudo cresce.
- Nem todo caminho evolucionário arbitrário é possível em um dado sistema não-linear, há um espectro possível.
- Não-linearidade significa a possibilidade de alterações inesperadas de direção – ditas emergentes –, tornando previsões não confiáveis a partir de determinado horizonte de tempo.
- O desenvolvimento da dinâmica não-linear ocorre por meio de escolhas acidentais de um caminho em torno de pontos de bifurcação.
- Tais bifurcações são determinadas não [necessariamente] por alteração de parâmetros do meio, mas sim pelo curso dos processos de auto-organização.
- Não-linearidade implica na noção de possibilidade de desenvolvimento super-rápido em certos estágios evolucionários.

É importante ressaltar que um melhor entendimento da dinâmica não-linear tem sido possibilitado graças ao uso de recursos computacionais avançados, principalmente no quanto envolve a dinâmica de multi-variáveis interagindo simultaneamente.

Principais conceitos Operacionais (Conceitos chaves)

Emergência

Conforme Epstein (2006, p. 31) o ‘emergentismo’ começa na Inglaterra por volta de 1920 envolto numa concepção misteriosa do surgimento de qualidades emergentes sem explicação, ou seja, com uma abordagem vitalista anti-científica.

Hoje, do ponto de vista científico, tem-se entendimento que a emergência é um fenômeno organizacional, produto da dinâmica existente em sistemas vivos e inanimados. Epstein (*ibidem*) define Emergência de forma objetiva como sendo: “padrões macroscópicos estáveis que surgem de interações locais de agentes”.

Um aspecto importante relacionado à emergência é sua manifestação em multiníveis, tal que não se trata de uma hierarquia de complexidade, mas de diferentes manifestações qualitativas de níveis de complexidade relacionadas a diferentes níveis organizacionais – no sentido de identificação de novas relações em função de se considerar agrupamentos de unidades. A emergência está associada ao surgimento de um novo padrão de propriedades estruturais e relacionais.

Auto-organização

“Algumas vezes propriedades do sistema emergem devido a interações locais entre os elementos, sem um comando externo; nesse caso o mecanismo é denominado de auto-organizado” (Erdi, 2008, p. 19).

Por se tratar de um fenômeno complexo, não é fácil uma definição precisa de auto-organização e, quanto mais técnico se pretende ser, mais complexa se torna uma definição. Por exemplo, é o caso da proposta de Luzzi e Vasconcellos (*in* Debrun *et al*, 1996, p. 199 e 200), que se baseiam na perspectiva físico-química de Prigogine:

“Em forma breve [mas nem tanto] auto-organização é o resultado do desenvolvimento de instabilidades num sistema desorganizado (termicamente caótico) com a subsequente estabilização de uma estrutura coerente de longo alcance (macroscópica) devido ao balanço entre perdas dissipativas internas e ganhos de energia, massa etc. vindos de uma fonte externa, sendo que a evolução do sistema é governada por leis cinéticas não-lineares”.

O fato é que a auto-organização tem sido observada na dinâmica não-linear nas diversas áreas da ciência da complexidade (modelos matemáticos, fenômenos físico-químicos e bio-sociais, e ainda, nas explorações virtuais), onde padrões organizacionais do sistema emergem ‘espontaneamente’ sob determinadas circunstâncias, sem *input* organizacional externo sobre o sistema.

“É o princípio dinâmico sob a emergência de um mundo rico de formas manifestadas em estruturas [físicas,] biológicas, ecológicas, sociais e culturais. [... Ao que parece, a] dinâmica auto-organizacional se torna o link entre o reino animado e inanimado” (Jantsch, 1992, p. 19).

Não se trata de um conceito novo, mas que tem sido mais bem entendido principalmente através das explorações virtuais.

Dinâmica evolucionária

O surgimento de padrões organizados salta aos olhos na nossa realidade direta; os maiores desafios das ciências da complexidade têm sido tanto explicar a dinâmica de formação dos diversos padrões, principalmente aqueles que surgem de forma inesperada, não planejada, quanto tentar descobrir padrões onde existe uma aparente desordem.

A perspectiva evolucionária tem sido discutida nos diversos campos, inclusive ampliando as bases da proposta darwiniana.

Conteúdo das Ciências da Complexidade – tópicos selecionados

Teoria do Caos

A teoria do caos, que se inicia nos anos de 1960 com o nome de ‘fluxos determinísticos’, recebe a alcunha de ‘ciência do caos’ apenas nos anos de 1970, quando passa a ser divulgada no meio acadêmico científico’, mas tornar-se popular só nos anos de 1990.

É importante salientar que a teoria do caos surge de um processo de iteração matemática no uso de equações determinísticas, relativamente simples, que incorporaram a não-linearidade, as quais produzem resultados ‘imprevisíveis’ a partir de determinados parâmetros. Ou seja, com a teoria do caos o determinismo é

dissociado de previsibilidade, passa-se a ter o caos determinístico. O caminho para o caos envolve um caminho de alterações de padrões comportamentais que inclui flutuações e bifurcações nas suas representações gráficas.

O caos não foi apenas ‘encontrado’ nas equações matemáticas, ele foi visualizado através de recursos computacionais aplicados à topologia – ramo da matemática com base na geometria, criado por Poincaré –, e os padrões encontrados são denominados de ‘atratores’, que são abstrações matemáticas na forma de figuras que representam o comportamento dos resultados dessas equações. Os atratores se formam dentro de uma dinâmica auto-organizada.

Obtiveram-se várias conclusões sobre o comportamento não-linear dessas equações e suas representações topológicas. No mundo real passou-se também a observar o comportamento caótico em sistemas físicos sob certas condições.

Metáforas utilizando atratores têm sido comuns na linguagem da administração, assim como a tentativa de utilizar a teoria do caos para analisar dados econômicos, de mercado e até de produção. Mas, parece estar diminuído a busca de se utilizar a matemática do caos determinístico nas questões organizacionais, talvez porque a teoria do caos se aproxima mais de abstrações matemáticas, ou de fenômenos físicos bem determinados, do que da realidade da dinâmica social. (mais detalhes da matemática do caos no apêndice D).

Fractais

Os objetos geométricos chamados de fractais por Mandelbrot por volta dos anos de 1970 possuem uma característica especial: auto-similaridade. Ele definiu fractal da seguinte forma (Barbosa (a), 2002, p. 18): “Um fractal é uma forma cujas partes se assemelham ao seu todo sob alguns aspectos”, tal que, suas partes em qualquer escala são semelhantes ao todo.

Muitos atratores, mas nem todos, apresentam características fractais.

“Outro elo importante entre a teoria do caos e a geometria fractal é a mudança de quantidade para a qualidade” (Capra, 1996, p. 119). Esse padrão qualitativo emergente também é associado à idéia de auto-organização.

A idéia de auto-similaridade em todas as escalas tem inspirado alguns teóricos organizacionais em buscar semelhanças nos vários níveis organizacionais. Mas, assim como o caos, tem havido cada vez menos a busca de aplicação da metáfora do fractal na gestão organizacional (mais detalhes da geometria fractal no apêndice D).

Leis de Potência/ Criticalidade auto-organizada

Conforme seu criador, Per Bak (1996, p. xii): “criticalidade auto-organizada’ é uma nova maneira de enxergar a natureza [...] explica alguns padrões onipresentes existentes na natureza que nós vemos como complexos”; sua idéia foi primeiramente apresentada em 1987.

A criticalidade auto-organizada é um princípio por trás do comportamento de sistemas cujas frequências não obedecem às leis de distribuição estatísticas em torno da média, tal que na natureza muitas mudanças ocorrem mais por meio de eventos catastróficos do que apenas por mudanças graduais: “sistemas complexos podem exibir comportamentos catastróficos” (*ibidem*, p. 1 e 12).

A ilustração clássica é a pilha de areia que vai sendo alimentada gradualmente por um fino fluxo de grãos de areia no topo. A dinâmica interacional dos grãos é tal que a pilha vai aumentando, sendo que pequenas avalanches ocorrem com certa frequência e a pilha se ‘ajeita’ em um novo equilíbrio até que, eventualmente, um pequeno grão de areia faz com que uma grande avalanche ocorra provocando um rearranjo quase completo da pilha. “O mesmo grão de areia pode fazer uma pequena avalanche, mas pode fazer a maior avalanche de todos os tempos! Grandes e pequenos acontecimentos desencadeados pela mesma pequena causa...” (Guedes, 1999, p. 199).

Essa idéia intuitivamente prática foi testada em computador e depois, conforme seu autor, comprovada na prática. Mas o principal ponto é que esse fenômeno obedece à uma “lei de potência” – com proporcionalidade $1/f$ – que é denominada de *scale free*, ou seja repete seu padrão independente da escala (um fractal obedece a uma lei de potência), sendo normalmente representada graficamente em escala logarítmica. Terremotos, erupções vulcânicas, enchentes do Nilo e tantos outros fenômenos obedecem às leis de potência (baseado em Guedes, 1999, 186 a 191).

Na gestão em geral, uma versão simplificada das leis de potência é já há muito conhecida, que se trata da “lei de Pareto”, ou 80/20. Na produção a utilização da curva da experiência é um exemplo deste raciocínio, na qual os custos totais devem declinar em torno de 20 a 30% cada vez que se dobra a produção. Diversos sistemas se auto-organizam apresentando comportamentos que podem ser associados a leis de potência, inclusive determinadas *networks*, tal como a internet.

Estrutura dissipativas

O conceito de estruturas dissipativas foi estabelecido pelo físico e químico Ilya Prigogine, apresentado pela primeira vez em 1967 e mais elaborado quatro anos depois, a partir de estudos sobre sistemas físico-químicos, mas inspirado pela natureza da vida – pois um fator intrigante para Prigogine era o fato de que os organismos vivos são capazes de manter seus processos de vida relativamente estáveis em condições de não equilíbrio –, sendo sua abordagem da questão da ‘auto-organização’ uma das mais detalhadas (baseado em Capra, 1996, p. 80 e 82).

As estruturas dissipativas recebem este nome porque são criadas e mantidas graças a trocas de energia com o exterior. “Essa idéia de uma entropia construtiva longe do equilíbrio, delineia um desvio e anuncia uma ruptura em relação à termodinâmica clássica” (*ibidem*, p. 21). Uma imagem de uma estrutura dissipativa é o redemoinho.

Fenômenos de auto-organização que antes eram observados na natureza viva passam a ser reconhecidos em sistemas físico-químicos. Assim, no ponto de vista de Prigogine as leis da física se tornaram mais próximas das leis da natureza viva, e tais fenômenos se manifestam na realidade meso: “O que eu queria sublinhar é que as estruturas espaciais ou temporais que se realizam em consequência das condições de não equilíbrio, são estruturas à nossa escala [meso]: os tempos da ordem do segundo; as distâncias da ordem do milímetro e do centímetro.” (Prigogine *in, ibidem*, p. 22).

Um dos pontos fundamentais da teoria de Prigogine é o reconhecimento da relação entre ‘longe do equilíbrio’ e equações ‘não lineares’. Outro aspecto é que as estruturas dissipativas podem evoluir, passando por novas instabilidades e surgindo novas estruturas, qualitativamente diferenciadas. Sua dinâmica pode ser descrita com todo o aparato matemático da teoria do caos, assim como com vários dos seus termos – motivo pelo qual é muitas vezes tratada como parte da teoria do caos, pois sob a perspectiva matemática a dinâmica é semelhante. Isso não quer dizer que sob aspectos termodinâmicos não tenha havido efetivamente contribuições de novos conceitos.

O próprio Prigogine considera os conhecimentos da dinâmica das estruturas dissipativas como elementos importantes para modelar o comportamento da sociedade, o que inclui os seus indivíduos e as organizações, e ainda, sugere que esses conhecimentos servem como base para uma renovação da ciência.

As idéias de Prigogine têm penetrado nos mais diversos campos da gestão empresarial, inclusive com tentativas de complementar modelos de dinâmica de sistemas produtivos – como será visto no item 12.1.

Co-evolução/Fitness landscapes

O biólogo Kauffman, além de grandes contribuições no que tange à evolução de sistemas complexos, tem sido responsável pela divulgação de vários slogans, em

especial relacionados a sistemas vivos, tais como: ‘evolução no limite do caos’; ‘ordem de graça’ (*order for free*) e ‘cenários adaptativos’ (*fitness landscape*).

Apesar dos recursos utilizados por Kauffman estarem voltados para o uso de matemática e computadores, seu enfoque está em como redes químicas podem gerar a vida e como sistemas vivos co-evoluem.

Stuart Kauffman utilizou redes binárias, com ‘nós’ que obedecem a regras de comutação do tipo ‘ligado’ ou ‘desligado’, como modelo matemático das redes genéticas de organismos vivos, e foi capaz de deduzir, com base nesses modelos [por meio de simulação em computadores], várias características conhecidas de diferenciação e evolução celular, concluindo que os sistemas vivos existem na região no limite do caos (baseado em Capra, 1996, p. 165 e 182). Os padrões organizacionais que as dinâmicas das redes formam, de acordo com determinados parâmetros, são associados a atratores. A dinâmica auto-organizadora ocorrendo por processos recursivos de informação, que seriam feedback não-lineares, é associada ao termo químico de auto-catálise. Aqui estão implícitas contribuições relacionadas a uma teoria de *network*.

“Kauffman tem discutido que todo o ecossistema pode co-evoluir para um estado no limite do caos, fazendo uma ligação com a idéia de criticalidade auto-organizada de Bak” (Coveney e Highfield, 1995, p. 275). Essa dinâmica co-evolutiva de diferentes sistemas interagindo é representada por Kaufmann por meio de cenários adaptativos (*fitness landscape*), normalmente com o uso de gráficos tridimensionais indicando picos e vales se transformando ao longo do tempo, em relação a determinados parâmetros.

A dinâmica das interações em rede, e as conclusões sobre elas, assim como, os padrões organizacionais que se formam e se transformam tiveram, e ainda têm, um impacto significativo nos teóricos organizacionais. Assim, é muito comum a referência aos estudos de Kauffman ao explorar, em gestão, o tema complexidade.

Autopoiese

“De acordo com Maturana e Varela, a característica chave de uma rede viva é que ela produz continuamente a si mesma. [...] A autopoiese, ou ‘auto-criação’, é um padrão de rede no qual a função de cada componente consiste em participar da produção ou da transformação dos outros componentes da rede. [...] Quando Maturana e Varela descrevem o padrão da vida como uma rede autopoietica, sua ênfase principal é no fechamento organizacional desse padrão. Quando Ilya Prigogine descreve a estrutura de um sistema vivo como uma estrutura dissipativa, sua ênfase principal é, ao contrário, na abertura dessa estrutura ao fluxo de energia e matéria.” (Capra, 1996, 136 e 141).

Uma das questões importantes associadas ao conceito de autopoiese, desenvolvido próximo dos anos de 1970, é que ele não envolve um conjunto de relações entre componentes estáticos, mas entre componentes dinâmicos, em processo de produção, de auto-produção. Esse processo pode ser considerado um tipo específico de auto-organização.

“Um sistema autopoietico, enquanto autopoietico, é um sistema dinâmico fechado no qual todos os fenômenos são subordinados à sua autopoiese e todos os seus estados são de autopoiese. Esta conclusão tem diversas consequências fundamentais” (Maturana, 1997, p. 134).

A coerência entre a estrutura do ambiente e do sistema vivo requer uma adaptação denominada de ‘acoplamento estrutural’, tal que a estrutura de um ser vivo é sempre resultado de uma história, na qual as suas mudanças estruturais têm sido congruentes com as mudanças estruturais do meio.

A questão da autopoiese nos sistemas sociais é explorada por Maturana em ‘Ontologia da realidade’ (1997), e uma das questões abordadas envolve a reflexão sobre mudanças organizacionais e identidade organizacional, pois, por essa ótica, a

dinâmica do sistema pode mudar seus elementos e a estrutura, mas deve ter cuidado para não ter que lidar com a perda de sua identidade organizacional – sua organização autopoietica.

Modelos Baseados em Agentes

“Matemática é bom para modelar o equilíbrio. Modelos baseados em agentes são essenciais para modelar a criação da ordem” (Bill McKelvey *in* Richardson *et al*, 2006, p. 146).

Essa é uma área em pleno desenvolvimento e, apesar de se propor diferenciar da I.A. (Inteligência Artificial) por ter um propósito mais amplo do que o comportamento individual, o cérebro visto como conjunto de neurônios envolve princípios de agentes que interagem segundo determinadas regras. Tanto que o livro clássico de introdução a I.A., de Russel e Novig (2004), já no prefácio, propõe que o tema unificador das várias contribuições da área “é a idéia de agente inteligente”. Os autores sugerem a seguinte definição mais tecnicista de agente: “é tudo que pode ser considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores” (*ibidem*, p. 33).

Para North e Macal (2007, p. 24) “agentes são componentes tomadores de decisão em Sistemas Adaptativos Complexos”, e a modelagem baseada em agentes permite capturar altas quantidades de interações não-lineares, que produzem comportamentos emergentes, que os modelos tradicionais não possibilitam. Agentes podem ser associados às seguintes características: adaptativo; capacidade de aprender e modificar seu comportamento; autonomia; e heterogeneidade, sendo que nem todos os agentes possuem estas características, podendo ser denominados de ‘proto-agentes’ (baseado em *ibidem*, p. 11 e 27).

O desenvolvimento de modelos baseados em agentes passa a ter um desenvolvimento significativo com a fundação do *Santa Fe Institute* nos anos 80, quando o termo

Sistemas Adaptativos Complexos ganha bastante notoriedade – voltado inicialmente para evoluções bio-sociais, no nível do organismo ou de espécies.

Agentes existem em um espaço virtual e devido à evolução dos recursos computacionais e da integração das técnicas, está cada vez mais difícil delimitar o campo dessa área, tanto que alguns sugerem o título de sistemas inteligentes. Tais sistemas envolvem o uso de técnicas, inclusive de formas combinadas, como:

- Redes Neurais
- Lógica Fuzzy
- Computação evolutiva: sob este título será proposto incluir autônomos celulares, algoritmos genéticos e *swarm intelligence*.

Essas técnicas têm sido utilizadas nas mais diversas áreas da administração: estudo de mercados financeiros; programação de produção; cadeias de suprimentos; administração de crescimento urbano etc.

Teoria das redes – theory of networks (Random graphs/ smallworlds/ scale free)

Os grafos passaram pelo estágio de representação de redes randomicamente formadas (*random graphs*), até que as idéias de *six degree* e *links* fracos, oriundos da sociologia (ver Apêndice D) foram combinadas em simulações computacionais para explicação do funcionamento das redes. Surge o conceito computacional de *small-worlds*, para expressar essa dinâmica de *network* que combina conexões ordenadas, segundo regras bem estabelecidas que equivalem a *links* fortes, e certas conexões aleatórias que equivalem a *links* fracos. Assim, padrões não planejados emergem entre a ordem e o caos, tal que, em muitos casos podem explicar razoavelmente bem a dinâmica social.

Observa-se que muitos dos padrões de dinâmica de *networks* obedecem à idéia de *scale-free* (conforme teoria desenvolvida em 1999), que pode ser associada a leis de

potência, pela identificação da existência de uns poucos *links*, que são denominados de *hubs*, que possuem muitas conexões, e estabelecem ligações preferenciais.

Vários fenômenos organizacionais podem ser analisados pela ótica de redes:

- Cadeia de *supply chain*
- Redes de negócio
- Redes de distribuição de energia e de comunicação
- O ambiente da WWW etc.

Apesar da teoria de *network* possuir um desenvolvimento próprio, oriundo da teoria dos grafos, autores como North e Macal (2007, p. 50) consideram que as descobertas nesse campo são importantes para o desenvolvimento da Modelagem Baseada em Agentes (MBA), pois os agentes estão conectados formando redes. Isto sugere que no futuro próximo essas questões devem se integrar – talvez em uma proposta do tipo: Teoria de *Networks* de Agentes ou de Agentes em *Networks*.

Ciências da complexidade e Gestão

As organizações empresariais são sistemas complexos e de alguma forma os teóricos organizacionais nesse campo sempre estiveram tentando lidar com a complexidade organizacional desde as primeiras teorias de gestão.

O paradigma mecanicista, apesar de ter influenciado grande parte das teorias, enfrenta na área de gestão os teóricos voltados para abordagem sistêmica – que nem sempre trataram a questão sistêmica com a profundidade conceitual necessária. Assim, é de se esperar que abordagens mais complexas e inovadoras, independente da relação com as novas teorias das ciências da complexidade e contribuições filosóficas ligadas a um pensamento mais complexo, surjam no repertório de gestão. E, talvez, tais iniciativas fora de seu tempo tiveram sua notoriedade comprometida por não estarem alinhadas com um movimento ‘popularizado’ de gestão.

A ‘teoria do caos’ deflagrou um movimento cada vez mais popular que busca integrar na gestão os novos conhecimentos científicos ligados à dinâmica não linear de sistemas – retoma a linguagem de sistemas, só que com um novo repertório. Os conhecimentos oriundos dessa nova abordagem são decorrentes da dinâmica de sistemas formais, fenômenos da natureza e explorações virtuais.

Os termos ‘teorias do caos’ e ‘não-linearidade’, por si só, possuem um apelo diferenciado para os gestores. Estes possuem tradicionalmente, como principais recursos de gestão, modelos que pressupõe uma dinâmica ordenada e controlada, enquanto o dia-a-dia nos negócios os obriga a lidar com uma realidade desordenada e cheia de incertezas.

Em seu livro, publicado originalmente em 1998, Brown e Eisenhardt (2004, p. 9) afirmam: “Da parte da física, surgiu todo um vocabulário da mudança, criado em torno de não-linearidades, caos e atratores estranhos. Era difícil não se deixar contagiar pelo momentum e pelo fervor provocados pela reflexão sobre evolução”. Observa-se o risco do uso das metáforas que podem apenas encobrir velhas idéias com novos nomes.

Como ilustração da influência das ciências da complexidade na gestão, a tabela 33 abaixo apresenta publicações complementares do mercado de livros voltado para gestão de negócios, que foram acessadas e tiveram no seu conteúdo a identificação de uma relação com as ciências da complexidade – estão excluídos desta tabela os livros identificados como relacionados ao autor Ralph Stacey devido à sua grande quantidade de produção nos de 1990, grande parte voltada para estratégia (ver referência bibliográfica). Com o objetivo de perceber alguma evolução, as publicações estão apresentadas em ordem decrescente do lançamento de sua versão original.

Tabela 33: Livros de gestão relacionados com as ciências da complexidade

Tema de Gestão	Autor	Título da Publicação	Data do original	Comentários
Inovação em gestão	Gary Hamel e Bill Breen	‘O Futuro da Administração’	2007	O autor referencia Kauffman e sua proposta co-evolutiva com a idéia de <i>fitness landscape</i> .
Inovação tecnológica	Koen Frenken	‘Inovation, Evolution and Complexity Theory’	2006	Toma como base o modelo evolucionário de Kauffman e cita modelagem baseada em agentes.
Modelagem Organizacional	Antonio Carlos Ritto	‘Organizações Caórdicas: Modelagem de organizações inovadoras’	2005	Propõe estabelecer uma aplicação de diversas abordagens das ciências da complexidade – com uma tendência sutil à valorização da perspectiva biológica, em especial do conceito de autopoiese. Mas submete todas as contribuições à denominação de ‘teoria do caos’. O autor inclui diversas discussões filosóficas e até reflexões de Morin.
Modelagem Organizacional	Alex e David Benett	‘Organizational Survival in the New World’	2004	Explora a empresa como sendo um Sistema Adaptativo Complexo, inclui uma perspectiva de rede - sem o conteúdo da teoria de <i>networks</i> .
Modelo de gestão voltado para aprendizagem	Mrak W. McElroy	‘The New Knowledge Management’	2003	Explora a empresa como sendo um Sistema Adaptativo Complexo, utiliza como referencial Holland – que explora bastante modelagem baseada em agente. Explora o conceito de auto-organização.
Modelagem Organizacional	Edwin E. Olson e Glenda H. Eoyang	‘Facilitating Organization Change’	2001	Explora a empresa como sendo um Sistema Adaptativo Complexo. Explora o conceito de fractal e auto-organização.
Modelagem Organizacional – interpretada com casos reais	Richard Pascale <i>et al</i>	‘Surfing the edge of chaos: the laws of nature and the new law of business’	2000	Explora a idéia do limite do caos principalmente sob a perspectiva de sistemas vivos. Explora idéias de: Sistema Adaptativo Complexo, <i>fitness Landscape</i> , atratores, auto-organização e emergência.
Modelagem Organizacional	Susanne Kelly e Mary Ann Allison	‘The complexity Advantage’	1999	Explora principalmente o conceito de auto-organização sob a ótica de sistemas adaptativos complexos – explorando conceitos de Kauffman, inclui questões relacionadas à teoria do caos e estruturas dissipativas.
Modelagem Organizacioanl	“Robret Axelrod e Michael D. Cohen	“Harnessing Complexity	1999	Fundamentado em Sistemas Adaptativos Complexos – explorados virtualmente com modelos baseados em agentes estabelecem princípios organizacionais
Pensamento Estratégico	Shona L. Brown e Kathleen M. Eisenhardt	‘Estratégia competitiva no limiar do caos’	1998	Explora as idéias da teoria do caso e estruturas dissipativas
Pensamento Estratégico	T. Irene Sanders	‘Strategic thinking and the new science’	1998	Explora fundamentalmente a teoria do caos e fractais, aborda dentro dessa perspectiva Sistemas Adaptativos Complexos.
Aprendizagem Organizacional	Ikujiro Nonaka e Hirotaka Takeuchi	Criação de Conhecimento na empresa	1997	Explora o conceito de caos criativo’, associado à teoria do caos – com referência ao livro de Gleick.
Liderança	Margaret J. Wheatley	Liderança e a nova ciência	1992	Apresenta um conjunto de insights baseados na teoria do caos, fractais e complexidade quântica

Percebe-se que nos anos de 1990, possivelmente decorrente do impacto do livro de Gleick – original de 1987 –, há um discurso mais voltado para a teoria do caos, envolvendo fractais e estruturas dissipativas. A questão da complexidade quântica parece ser suprimida, ou temporariamente incubada, como fonte de inspiração em gestão.

Por volta de 2000 em diante, passa a predominar um discurso voltado para Sistemas Adaptativos Complexos (SAC), que envolve a idéia de exploração virtual de modelos baseados em agentes. A principal referência nesse período é a biologia evolucionista de Kauffman, que se utiliza de modelos computacionais.

Quanto à publicação brasileira de 2005, apesar de contemplar a abordagem de SAC, predomina o discurso da teoria do caos, e ainda apresenta uma discussão filosófica abrangente. Essas diferenças entre a produção nacional e internacional no período após 2000 foram também identificadas na análise apresentada no capítulo 8.

A exploração das teorias de *network*, presente nos artigos acadêmicos internacionais mais recentes, não foi identificada nestas publicações (nacionais) no campo de gestão organizacional. Uma publicação nacional relativamente recente: ‘Rede de Negócios: Tópicos em Estratégia’ (Boaventura, 2006), que reúne uma coletânea de contribuições, apresenta uma grande discussão sobre redes de negócio, com tipologias e exploração de teorias sociais em *network*, mas não se observou no seu conteúdo nenhuma abordagem, ou conceitos, de contribuições relacionadas à ‘Teoria de *networks*’. Em uma das referências (Ryngelblum *in ibidem*, p. 175) é citado Granovetter, o sociólogo criador da idéia de ‘links fracos’, mas o foco está nas suas teorias sociológicas das relações econômicas. Como era de se esperar, na realidade nacional, é citado Morin (Giglio *in ibidem*, p. 130), no intuito de ressaltar a importância do raciocínio da complexidade e a necessidade de lidar com a incerteza no desenvolvimento de métodos de pesquisa menos positivistas.

Livros que foram identificados como voltados para aplicação de forma direta dos novos conhecimentos de *network* – que não estão ligados ao desenvolvimento da teoria em si – estão relacionados com a dinâmica da internet, de redes biológicas e de redes sociais de uma forma ampla (exemplos: Caldarelli e Vespignani, 2007,

Dorogovtsev e Mendes, 2006 e Vega-Redondo, 2007), ou seja, ainda não são comuns publicações relacionadas à gestão explorando os conceitos da teoria de *networks* – nem mesmo aquelas que abordam redes de negócio.

É interessante observar dois *best-sellers* internacionais, que foram inclusive lançados no Brasil: ‘O ponto de equilíbrio: como pequenas coisas podem fazer uma grande diferença’ (Gladweel, 2002) e ‘Cauda Longa: do mercado de massa para o mercado de nicho’ (Anderson, 2006). Ambos tratam de questões relacionadas a dinâmicas complexas de sistemas. O primeiro pode ser relacionado com a idéia de criticalidade auto-organizada e leis de potência, porém trata de narrativas de dinâmicas reais de mercado, o segundo é voltado para demonstração de aplicações das leis de potência na dinâmica do mercado. Ambas as questões poderiam ser consideradas dentro da teoria de *networks*, apesar dos livros não serem de aplicação dessa teoria, e são demonstrações de dinâmicas reais que até já possuem uma teoria em formação, que apresenta características dinâmicas que se encontram também presentes em outras teorias das ciências da complexidade.

Se for estabelecida uma relação entre a principal época de desenvolvimento de conhecimentos nas ciências da complexidade e sua repercussão, de forma significativa, no ideário de modelos de gestão, pode-se sugerir a seguinte situação (ver tabela 34):

Tabela 34: Relação entre Ciências da Complexidade e Gestão

Principal conteúdo da Ciência da Complexidade	Época do principal desenvolvimento na Ciência da Complexidade	Época de repercussão no ideário de Gestão
Teoria do caos / Fractal / Leis de Potência/ Estruturas Dissipativas/ Autopoiese	~ 1970	~1990
Co-evolução & Fitness Landscape / SAC – Modelos Baseados em Agentes	~ 1980	~ 2000
Teoria de <i>Networks</i>	~ 2000	~ (2010?)

Como é se de esperar, existe um processo co-evolutivo envolvido no desenvolvimento das ciências da complexidade e da repercussão dessas no campo gestão. Com base na dinâmica observada, pode-se sugerir uma nova onda envolvendo a teoria de *network* no âmbito internacional. Tal situação procura ser representada visualmente na figura 38, sendo esperado certo *delay* da influência dessa teoria (*network*) na produção nacional.

Figura 38: Evolução das ciências da complexidade e seu efeito na gestão

10.3. Desenvolvimento do Pensamento ‘mais’ Complexo e sua relação com a Gestão

Apesar da sua origem comum, ciência e filosofia encontravam-se distanciadas desde a consolidação dos alicerces do paradigma mecanicista. A ciência propunha-se a buscar o conhecimento da ‘verdade’, e a filosofia (e de uma maneira mais ampla as humanidades) foi relegada para procura do conhecimento do ‘bem’ (e de certa forma, do ‘belo’). Entretanto o desejo de unir tais questões regressava clandestinamente, possivelmente pelo reconhecimento da complexidade na ciência (baseado *in* Wallerstein *in* Santos, 2004).

“Creio que é sobretudo nos períodos de crises reconhecidas que os cientistas se voltam para a análise filosófica como um meio para resolver as charadas de sua área de estudos. [...] Não é por acaso que a emergência da física newtoniana no século XVII e da Relatividade e da Mecânica quântica no século XX foram precedidas e acompanhadas por análises filosóficas fundamentais da tradição da pesquisa contemporânea ” (Kuhn, 1997, p. 119 e 120).

Cientistas voltados para o estudo do comportamento complexo de sistemas também enveredaram para o campo filosófico (em relação às Ciências da Complexidade, Prigogine é bem marcante neste sentido) ou para campos fora da sua especialidade (o caso clássico é do físico quântico Schrodinger que migrou para questões biológicas, promovendo o avanço nos estudos do código genético). Esta situação parece ter despertado ainda mais o interesse de pensadores que procuraram aproximar a filosofia da ciência.

O pensador tomado como referência para a construção de um Pensamento ‘mais’ Complexo é Edgar Morin, com sua proposta de ‘pensamento complexo’. Morin têm sido uma das principais fontes inspiradoras para muitos pesquisadores e pensadores em geral, principalmente na Europa e América Latina⁷⁰. Tem exercido grande

⁷⁰ Ver capítulo 2.

influência em diversos educadores brasileiros e, como foi possível observar anteriormente, no Brasil suas idéias já permeiam até mesmo trabalhos acadêmicos nas áreas de Engenharia de Produção e Administração.

Entende-se que Morin é acima de tudo um ‘sistemista’, na mais profunda forma de ser, propiciando uma diferenciada abordagem filosófica que esteve ausente nas propostas relacionadas à teoria de sistemas. Morin procura trazer de volta a reflexão sobre a complexidade dos sistemas complexos, principalmente os que envolvem o homem, que foi se perdendo na exploração da abordagem sistêmica ou foi deixada de lado, como sendo a complexidade um mal necessário de se conviver.

Autor de muitas obras, com uma formação diversificada e dotado de grande inspiração intelectual, faz com que qualquer tentativa de estruturar suas diversas contribuições se torne um desafio difícil e com risco de alguma perda intelectual, pois em alguns momentos apresenta suas idéias de forma ordenada com uma proposta bem definida, em outros momentos essa proposta se altera – se amplia, se dispersa, se reduz ou se modifica conceitualmente – dentro de um processo evolutivo que se auto-organiza em função de diferentes interações de idéias, que não são poucas, devido à sua intensa reflexão e participação em seminários, instituições, livros, entre outros.

Para se situar inicialmente quanto à abrangência do pensamento de Morin considera-se interessante apresentar a proposta principal de um dos seus artigos mais recentes: “Complexidade Restrita e Complexidade Geral”, no qual apresenta uma diversidade de idéias em 25 tópicos, e tem como inovação a idéia associada ao título do artigo (baseado em Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 5 a 29). O título do artigo remete a uma analogia com a terminologia da Teoria Restrita e a Teoria Geral da Relatividade, associa a abordagem científica voltada para modelagem da dinâmica dos sistemas chamados complexos (que seria o conteúdo das ‘Ciências da Complexidade’), a uma ‘Complexidade Restrita’, e defende a necessidade de ir além desse corpo de conhecimentos, voltando-se para uma abordagem mais ampla da complexidade, a qual denomina de ‘Complexidade Geral’.

É interessante a evolução do posicionamento de Morin em relação às ciências da complexidade, em especial ao *Santa Fe Institute*. Em 1999, em uma mesa redonda na Unb, ao ser perguntado sobre o que pensa a respeito do Instituto da Complexidade de Santa Fé, Morin respondeu:

“Penso que o instituto é muito útil; os seus princípios são mais concentrados nas ciências naturais, físicas e químicas, sendo que hoje há, também, uma extensão desse ponto de vista. Penso que nas ciências humanas a complexidade do Instituto é mais ligada a uma busca de formalização, que tende a esquecer os problemas de subjetividade, das paixões, da complexidade das realidades humanas. Porém o Instituto é muito interessante e importante” (Morin, 2001b, p. 54).

Apesar de apresentar neste momento um posicionamento com certo distanciamento do Instituto, o seu livro ‘Método I: a natureza da natureza’ – original de 1977 – foi elaborado com um foco sistêmico envolvendo discussões conceituais do comportamento da natureza, incluindo argumentos científicos de cientistas voltados para a complexidade de sistemas físico-químicos e biológicos, tais como Prigogine, Maturana e Varela (que não tiveram participação na fundação do Instituto e, ao que parece, não se tornaram membros do Instituto – curiosamente estes cientistas, de origem européia e latina, têm apresentado reflexões mais filosóficas relacionadas aos seus estudos de dinâmicas complexas).

Um posicionamento mais específico por parte de Morin em relação ao *Santa Fe Institute* parece ter-se tornado mais necessário. Tanto que no artigo de 2007, citado acima, faz referência ao Instituto e à disseminação da idéia de ‘ciências da complexidade’, as quais incorporam idéias do caos, fractais, desordem e incertezas – apesar de não ser nenhuma referência a modelos baseados em agentes ou *networks*. Assim, a proposição de Morin de uma Complexidade Geral é estabelecida tomando como parâmetro as Ciências da Complexidade, as quais são classificadas como Complexidade Restrita, em função, conforme Morin, principalmente da complexidade em si não ser questionada nem pensada epistemologicamente nessa

abordagem científica, o que não propicia uma revolução paradigmática que a complexidade obriga (baseado em Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 9, 10, 27 e 28).

Em função de Morin considerar que a Complexidade Geral é antes de tudo um repensar epistemológico que envolve um problema paradigmático, e ainda, que essa engloba a Complexidade Restrita (baseado em *ibidem*, p. 10 e 27), propõe-se associar à idéia de Complexidade Geral a idéia de um Paradigma da Complexidade⁷¹, nos moldes que vem sendo proposto neste trabalho e em propostas do próprio Morin, o qual envolve duas frentes (ver fig. 28 no cap. 9), que se complementam e co-evoluem: (1) Explicações com base na Complexidade na Ciência e (2) Pensamento ‘mais’ Complexo.

A questão da Complexidade na Ciência, que engloba as Ciências da Complexidade, já foi bastante explorada nos capítulos 9 e 10.2. O que pretende ser explorado neste momento é a questão do Pensamento ‘mais’ Complexo.

A primeira questão que se coloca é relativa à palavra ‘mais’ do Pensamento ‘mais’ Complexo. De que forma ele gera diferenciação do pensamento complexo? Apesar de o conteúdo ser, no momento, praticamente todo fundamentado na proposta do pensamento complexo de Morin, pretende-se, com o ‘mais’, abordar três aspectos:

1. Reconhecer claramente que outrora houve contribuições de pensamento complexo, que participaram na edificação do conhecimento existente (tanto nas ciências fundamentais quanto nas aplicadas, incluindo as relacionadas à gestão, por serem as organizações sistemas complexos), mas que se faz necessário expandir o modo de pensar complexo, não só em conteúdo mas também demograficamente. Conforme o próprio Morin: “[a] ciência clássica é de alguma forma complexa, até mesmo quando produz conhecimento simplificado” (Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 20), ou seja, “a complexidade está na origem das teorias científicas, incluindo as mais

⁷¹ Que é proposto pelo próprio Morin, como será visto à frente.

simplificadoras” (Morin, 1996a, p. 186), e ainda afirma, “a ciência é igualmente complexa porque é inseparável de seu contexto histórico” (*ibidem*, p. 8).

2. Dar uma idéia de abertura permanente ao pensamento associado à complexidade, em um processo de desenvolvimento contínuo, na medida em que o conhecimento evolui, ou seja: “trata-se de transformar [permanentemente] o conhecimento da complexidade em pensamento da complexidade” (*ibidem*). Com isso, procura-se também contribuir para evitar que os mais incautos entendam a proposta do pensamento complexo como totalizante, completa e fechada, a qual, inclusive, desconsideraria todo o conteúdo e as contribuições do pensamento mecanicista, ao lado das suas limitações e conseqüências inadequadas.
3. Tentar comunicar, já no título da proposta, que esta é uma linha de pensamento que não está limitada ao conteúdo existente do pensamento complexo, ou seja, parte dele, mas está além de um único conteúdo e de um único autor.

Quanto ao conteúdo do Pensamento ‘mais’ Complexo, propõe-se apresentar um conteúdo – com base em Morin – organizado em sete blocos interdependentes: (1) Discussão sobre o conceito de complexidade; (2) Transição para o paradigma da complexidade; (3) Noções chaves para a complexidade; (4) Princípios para um pensamento ‘mais’ complexo; (5) Saberes fundamentais transdisciplinares; (6) Saberes não científicos das humanidades; e (7) Discussão sobre conceitos das ciências da complexidade. Para visualizar a organização dessa proposta, vide figura 39 – os blocos de conhecimento estão pontilhados para dar idéia de abertura e transformação.

Figura 39: Complexidade Geral - Restrita e Pensamento “mais complexo”

Discussão sobre o conceito de complexidade

Morin (*in* Gershenson *et al*, 2007, p. 6) sempre parte da definição do termo: “o primeiro significado da palavra [complexidade] vem do Latim *complexus*, que significa aquilo que é tecido junto”⁷², para afirmar posteriormente que “complexo” não pode reduzir-se a uma palavra mestra, tal que “não poderia ser qualquer coisa que se definisse de maneira simples e tomasse o lugar de simplicidade. A complexidade é uma palavra problema e não uma palavra solução” (Morin, 2001, p. 8). Estas afirmações muitas vezes são consideradas repulsivas para as mentes que buscam conceitos funcionais e aplicações pragmáticas – atitude justificada, até certo ponto.

⁷² Morin associa a idéia de complexidade do ‘ponto de vista estrutural’ a “um conjunto de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados” (Morin, 2001, p. 20), e do ‘ponto de vista de processo’ como um “tecido de acontecimentos, ações, interações, retroações, determinações e acasos que constituem nosso mundo” (*ibidem*). Percebe-se que nessas abordagens complexidade seria equivalente ao conceito de sistema, que até se justifica pela ótica de Morin, pois para ele só existem sistemas complexos.

A discussão se torna mais complexa quando o autor defende a idéia de que tudo é complexo: “Eu penso que qualquer sistema, qualquer que possa ser, é complexo pela sua própria natureza” (Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 10)

“... o filósofo das ciências, Bachelard, tinha descoberto que o simples não existe: só há o simplificado. A ciência constrói o objeto extraindo-o do seu meio complexo para o colocar em situações experimentais não complexas. A ciência não é o estudo de um universo simples, é simplificação heurística necessária para libertar certas propriedades e certas leis” (Morin, 2001, p. 23).

Algumas brumas da complexidade envoltas no termo são dirimidas quando Morin (*ibidem*, p. 8 e 9) estabelece o que ‘não’ é complexidade, ou seja, quando se propõe a dissipar o que ele define como sendo ‘duas ilusões’ associadas ao termo:

“A primeira [ilusão] é crer que a complexidade conduz à eliminação da simplicidade. A complexidade aparece certamente onde o pensamento simplificador falha, mas integra nela tudo o que põe ordem, clareza, distinção, precisão no conhecimento. [...] A segunda ilusão é confundir complexidade e completude [...] um dos axiomas da complexidade é a impossibilidade, mesmo em teoria, de uma onisciência [...] nas] palavras de Adorno “a totalidade é a não-verdade”.

Também, em outro momento, após afirmar que existem vários modos de complexidade, afirma: “mas há complexidades ligadas à desordem [de natureza empírica] e outras complexidades que estão sobretudo ligadas a contradições lógicas” (Morin, 2001, p. 99).

Alguns autores como Knyazeva (*in* Carvalho e Mendonça, 2003, p. 98) consideram, mais objetivamente, que “o pensamento complexo é antes de tudo um pensamento não-linear”, o que implica, de uma forma mais científica, associar complexidade à não-linearidade – mesmo que aquela não se resume a isso.

Nesta ótica, onde não-linearidade e incerteza andam juntas, Jean-Louis Le Moigne (in Pena-Vega e Nascimento, 1999, p. 50) define: “será complexo o que certamente não é totalmente previsível e cuja ocorrência, no entanto, é inteligível e talvez, espacialmente antecipável”.

Ainda com relação ao conceito de complexidade, é interessante retornar à discussão sobre o termo complexo apresentada na introdução do capítulo 10, onde outras citações de Morin são apresentadas.

Transição para o paradigma da complexidade

“Para se compreender o problema da complexidade, é preciso saber primeiro que há um paradigma da simplicidade [... que] é um paradigma que põe ordem no universo e expulsa dele a desordem. A ordem reduz-se a uma lei, a um princípio. A simplicidade vê tanto o uno quanto o múltiplo, mas não pode ver que o uno pode ser ao mesmo tempo o múltiplo. O princípio da simplicidade quer separar o que está ligado (disjunção), quer unificar [tratar como uno] o que está disperso” (Morin, 2001, p. 85 e 86).

Morin (baseado em Morin 1996a p. 330 e 331, Morin in Pena-Vega e Nascimento, 1999, p. 21 a 23, Morin 2001a, p. 559 e 560, Morin in Gershenson *et al*, 2007, p. 5) estabelece ao longo de suas obras os principais princípios do paradigma simplificador – nem todos estão presentes em todas as obras:

- Princípio da ordem (que engloba o princípio do determinismo): contém a idéia de que tudo é estável, é regular, o que induz à idéia de reversibilidade do tempo e uma idéia que tudo pode ser previsto. Além disso, na concepção da física clássica, essa ordem é mecânica.
- Princípio da redução: segundo o qual o conhecimento das unidades elementares permite conhecer o todo.
- Princípio da disjunção (ou separação): que envolve a idéia de conhecimento objetivo, que separa as disciplinas umas das outras (levando ao princípio da

especialização e à inteligência compartimentada) e separa o objeto conhecido do sujeito conhecedor e o objeto de sua realidade, com a finalidade de comprovação experimental (eventualmente denominado como princípio de abstração).

- Princípio da validade absoluta da lógica clássica: que atribui um valor de verdade quase absoluto à indução, um valor absoluto à dedução e pelo qual toda contradição deveria ser eliminada.

Principalmente com base nesses princípios, Morin procura estabelecer um contraponto entre certas características do Paradigma Simplificador com um suposto Paradigma da Complexidade. Uma síntese interpretativa dessas características está apresentada na tabela 35 (baseado em Morin, 1996a, p. 330 a 334).

Tabela 35: Paradigma Simplificador *versus* Paradigma da Complexidade

Paradigma da Simplificação	Parâmetro	Paradigma da Complexidade
Princípio da universalidade: ‘só há ciência do geral’, expulsão do local e do singular	1-Desenvolvimento Científico	Princípio da universalidade como válido, mas não suficiente
Foco na reversibilidade, eliminando a perspectiva histórica	2-Perspectiva Temporal nas teorias científicas	Reintegração da irreversibilidade, da história e percurso do sistema complexo
Princípio da redução	3-Relação entre Partes e o Todo	“Julgo impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, como conhecer o todo sem conhecer as partes” (Pascal) - <i>ver princípio sistêmico</i>
Redução da organização à ordem	4-Questão Organizacional do sistema	Reconhecimento do papel complexo da organização
Linear e exterior ao objeto	5-Relações causais	Causalidade complexa (causalidade mútua, inter-retroações, atrasos, interferências, sinergias, desvios) Princípio da endo-exocausalidade para fenômenos de auto-organização

Determinismo universal, impecável, absoluta ordem	6-Determinismo	Integração da desordem, (dos fenômenos ao acaso), à ordem [Determinismo caótico]
Princípio da disjunção/separação: do objeto de seu ambiente	7-Relação entre o objeto de estudo e o ambiente	Princípio da distinção, mas não da separação, reconhecimento que o conhecimento de toda organização sistêmica exige o conhecimento de suas interações com o seu ambiente (contextualização)
Princípio da disjunção/separação: do objeto do sujeito – objetividade do conhecimento do objeto, com exclusão do sujeito que conhece	8-Relação entre Objeto e Sujeito	Re-introdução do papel do sujeito observador no processo observacional, como sujeito humano (situado de forma geográfica, cultural, sociológica e histórica)
Eliminação da problemática do sujeito no conhecimento científico	9-Relação entre Sujeito e Teoria científica	Possibilidade e necessidade de uma teoria científica do sujeito
Eliminação do ser simplificando-o por meio da quantificação e modelização matemática	10-Natureza do ser humano	Reconhece a natureza do ser humano, suas paixões, seus processos auto-organizadores e auto-produtores.
Não é concebível	11-A questão da Autonomia	Reconhece que ela se alimenta de dependência, de forma auto-organizadora e auto-produtora
Confiabilidade absoluta na lógica, toda contradição é um erro – lógica do terceiro excluído	12-A questão da Verdade das Teorias	Reconhece as limitações da lógica na demonstração de sistemas formais complexos (Godel) Comporta noções complementares, concorrentes, antagônicas
Discurso monológico	13-Forma de pensamento	Discurso dialógico (<i>ver princípio da dialógica</i>)

Princípios para um pensamento ‘mais’ complexo

Morin propõe o estabelecimento de sete princípios, complementares e interdependentes, como guias para o pensamento complexo. Em determinados textos refere-se a esses princípios como operadores, instrumentos do conhecimento que permitem abordar a complexidade. A proposta que tem se repetido em várias publicações envolve sete princípios (baseado em Martins e Silva, 2000, p. 32 a 34; Morin *in* Mendes, 2003, p. 72 a 75; Morin *in* Castro *et al*, 1997 p. 17 a 23):

1. Princípio Sistêmico ou Organizacional: partindo da idéia básica do sistema ser um conjunto de diferentes partes, unidas e que se inter-relacionam entre si e com o meio, considera-se a idéia da *organização* do sistema como sendo uma noção chave. Uma das definições de sistema de Morin: “É uma relação entre partes que podem ser bem diferentes entre si e constituem um todo que é ao mesmo tempo organizado, em organização e organizador” (Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 11). Esta idéia está associada a um processo dinâmico que confere estabilidade ao sistema, ao mesmo tempo em que deve incorporar a instabilidade (a mudança), pois caso contrário um sistema vivo morre. Organização tem um sentido dinâmico (que inclui uma permanente reorganização). Através desta organização emergem características próprias do todo, novas em relação às partes: “o todo é maior que a soma das partes”, mas limitar-se a essa perspectiva é cair em reducionismo ‘holístico’. A organização também gera a seguinte perspectiva: “o todo é, ao mesmo tempo, menor que a soma das partes”, pois qualidades das partes acabam sendo inibidas em prol da organização do conjunto que estabelece imposições. “Um sistema não é só enriquecimento, é também empobrecimento, e o empobrecimento pode ser superior ao enriquecimento” (Morin, 1997, p. 111). “O sistema é ao mesmo tempo superior, inferior e diferente da soma das partes” (ibidem). A complexidade está presente nessa relação de duas vias entre o individual e o coletivo.

2. Princípio ‘hologramático’: Inspirado no holograma, onde cada ponto contém a quase totalidade da informação do todo. Conforme Morin, é uma forma de dizer que a parte está no todo, mas o todo está inserido na parte. Cada célula contém o nosso patrimônio genético assim como cada indivíduo reflete a sociedade como um todo, por meio da linguagem e da cultura.
3. Princípio do ciclo retroativo (ou seja, da circularidade ou *looping*): É a valorização da idéia de *feedback* estabelecido pela cibernética. Sugere que ao ‘invés de se adotar a perspectiva linear de que toda causa tem um efeito’ [no caso, acredita-se que a frase que poderia expressar melhor a idéia do que se pretende comunicar, seria: ‘ao invés de se adotar uma perspectiva sequencial linear de causas e efeitos específicos’], adote-se uma perspectiva de causalidade circular, onde o próprio efeito volta à causa. Traz de volta a importância das diferentes contribuições da primeira cibernética, com o anel de retroação de *feedback* regulador voltado para redução de desvios e estabilização (que permite autonomia do sistema), e da segunda cibernética, com o *feedback* amplificador, que atua aumentando/reforçando o desvio, provocando desestabilização e a possibilidade de uma nova ordem. Neste princípio ainda está implícita a idéia de ‘caixa preta’ da cibernética, onde o foco está nos *inputs* e *outputs*, na relação do sistema com o meio onde há um princípio organizacional externo, e não na dinâmica organizacional do próprio sistema (o que é complementado com o próximo princípio).
4. Princípio do ciclo recursivo (ou recorrente): Apesar de trazer a idéia de circularidade, abrange a idéia de auto-produção, na qual os produtos e efeitos são produtores e causadores do que se produz (nós como seres humanos somos produtos e produtores de si mesmo como espécie, por meio do ciclo de reprodução), e a idéia de auto-organização, um fenômeno de grande profundidade conceitual que está por trás da própria idéia de organização ‘viva’ (e da própria auto-reprodução) e implica, entre outras coisas, na capacidade de regeneração e recriação (mesmo que dentro de certos limites) – conceito que será explorado como noção chave.
5. Princípio da auto-eco-organização (ou autonomia-dependência): Explora a idéia voltando-se para os seres vivos, afirmando que estes são auto-

organizadores e que auto-produzem, gerando necessidade de importar energia, informação e organização do ambiente (dependência) para garantir sua própria autonomia (que se torna uma autonomia dependente, inseparável do ambiente). Por exemplo, são múltiplas as dependências que permitem a construção da organização autônoma do indivíduo.

6. Princípio dialógico⁷³: Significa que lógicas, que são a princípio antagônicas, são ao mesmo tempo complementares e concorrentes, tal que podem ser unidas sem que a dualidade se perca nessa unidade. Assim ordem e desordem devem conviver juntas, pois fazem parte da dinâmica da vida. Comporta a idéia de que os antagonismos podem ser tanto estimuladores quanto reguladores. Ou seja, está diretamente relacionado com a necessidade de se conviver com “paradoxos”. A dialógica permite-nos aceitar racionalmente a associação de noções contraditórias para conceber um mesmo fenômeno complexo. A fórmula de Heráclito: ‘viver de morte e morrer de vida’ é paradoxal, mas na dinâmica da vida células morrem e novas células vêm no lugar delas; assim, através da morte nossa vida continua, e ao mesmo tempo, a vida integra a morte: como um todo, morremos à medida que vivemos. Observa-se também, dialogicamente, que o ciclo da vida é um círculo da morte.
7. Princípio da reintegração do observador à sua observação (ou do conhecedor ao conhecimento): a própria ciência (quântica) constatou que não passava de ilusão a separação do observador do objeto observado, como se o sujeito fosse um “ruído” que devia ser eliminado para o alcance do conhecimento objetivo. Todo conhecimento é uma reconstrução por um indivíduo, em certa cultura e determinado tempo. Mas só existe objeto em relação a um sujeito e só existe sujeito em relação a um meio objetivo. Por exemplo, qualquer estudo dentro da sociedade tem o sujeito que estuda como parte da sociedade, o que sugere a impossibilidade de um ponto de vista ‘totalmente objetivo’. É

⁷³ Uma abordagem que tem relação com a obra de Stephane Lupasco, cujas idéias têm sido exploradas e disseminadas pelo físico romeno Basarab Nicolescu. O pensamento de Lupasco, inspirado pelas descobertas quânticas de seu tempo, possui muita profundidade e apresenta, entre outras idéias, o ‘princípio do terceiro incluído’, como uma proposta de superar a lógica tradicional da não-contradição, com o estabelecimento de níveis de realidade (baseado em Nicolescu e Badesco, 2001, p. 109 a 112, Nicolescu, 1999, p. 31 a 39).

preciso integrar o observado à sua observação, o conhecedor ao seu conhecimento.

Conforme Morin (Castro *et al*, 1997 p. 21), os dois princípios mais importantes são os relacionados à circularidade e à dialógica. Entretanto, considera-se interessante a idéia de Morin que “o pensamento complexo nos diz que há uma ecologia da ação” (*ibidem*), que tem por trás dessa mensagem o efeito da não linearidade em sistemas com múltiplas interações – aspectos poucos explorados de forma direta por Morin. Mais recentemente, o próprio Morin refere-se a essa questão como um princípio, e classifica-o como central (*in* Gershenson *et al*, 2007, p. 25). Assim, propõe-se apresentá-lo como um novo – e importante – princípio da complexidade:

- Princípio da ecologia da ação: “A partir do momento em que lançamos uma ação no mundo, essa vai deixar de obedecer às nossas intenções, vai entrar num jogo de ações e interações do meio social no qual acontece, e seguir direções muitas vezes contrárias à nossa intenção. Logo, nunca estamos certos se nossas boas intenções vão gerar boas ações. É por isso que a resposta a essa incerteza se encontra ao mesmo tempo na aposta e na estratégia. Na aposta, pois não temos absolutamente certeza de conseguir os resultados que queremos; na estratégia, que permite corrigir nossa ação, se vemos que ela deriva e vai para outro caminho” (Morin *apud* Castro, 1997, p. 23).

Noções chaves para a complexidade

Morin (baseado em Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 5) considera que existem três noções que estão presentes na Complexidade Restrita (Ciências da Complexidade) mas que não são tratadas com a profundidade adequada: Sistema, Emergência e Organização⁷⁴, sendo que este último conceito, conforme o próprio Morin, traz atrelado a ele um outro conceito considerado importante: auto-organização.

⁷⁴ Observa-se que a abordagem dinâmica dada à organização por Morin, pode ser considerada equivalente ao conceito chave “dinâmica evolucionária” das ciências da complexidade.

- Sistema: “Tudo que tem uma realidade para nós é, de certa maneira, sistema” (Morin *in* Pena-Vega & Nascimento, 1999, p. 28). Morin (baseado em Morin, 1996a, p. 257 a 258) atribui esta generalidade da idéia de sistema à Teoria Geral dos Sistemas, mas considera que esta generalidade não basta para dar à noção de sistema seu lugar epistemológico no universo conceitual, tal que o sistema como paradigma permanece atrofiado. Deve-se remeter às idéias apresentadas anteriormente no ‘princípio sistêmico’ e perceber a importância de se entender o conceito de ‘organização’ para entender o sistema⁷⁵.
- Emergência: “O que é importante na emergência é o fato que de não ser dedutível das qualidades de suas partes; sendo então irreduzível ela aparece somente a partir da organização do todo” (Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 12). É uma qualidade que não se deixa decompor, sendo irreduzível tanto fenomenicamente (com surgimento de novas propriedades) quanto logicamente (envolve um salto lógico). Os fenômenos de emergência tornam-se muito evidentes a partir do momento que reparamos neles. Ao conceito de emergência estão ligadas as idéias de: qualidade, que envolve certas propriedades; produto, como resultado da organização do sistema; globalidade, visto que é indissociável da unidade global; e novidade, visto que é uma qualidade nova em relação às qualidades dos elementos (baseado em Morin, 1997, p. 105). Conforme argumenta Morin (Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 12), a vida é uma propriedade emergente que surge de ingredientes físico-químicos e não por meio de alguma força vital, ou seja, surge de uma complexidade organizacional que produz auto-organização. Mas nem toda emergência é resultado de um processo auto-organizado.
- Organização: conceito este mais amplo do que ‘estrutura organizacional’, por este último estar associado mais à idéia de ordem e invariância do que à idéia de uma dinâmica organizacional ativa, típica dos seres vivos, envolvendo interações entre as partes, o todo e o ambiente, de forma recorrente – a organização na maior parte dos sistemas é ativa (baseado em Morin, 1996a, p. 265 a 268). A organização deve ser vista como um processo de reorganização

⁷⁵ Para um entendimento da profundidade com que Morin trata a questão de sistemas e sua relação com a organização, este assunto é, praticamente, o tema envolvido em todo o livro “Método I” (Morin, 1997).

permanente, que tende a se desorganizar e se reorganizar, envolvendo trocas com ambiente. Morin expressa preocupação para que a questão organizacional não se reduza a um ‘organicismo’, restrito à organização de organismos biológicos. Propõe que ela deva se elevar a um ‘organizacionismo’ na busca de princípios organizacionais gerais (Morin, 2001, p. 41) – o que parece, nesse sentido, similar à busca das ciências da complexidade por modelos generalizáveis da dinâmica organizacional de sistemas complexos.

- Auto-organização: “É a interação sem supervisor (onipotente) entre elementos distintos, ou semi-distintos, que levam a uma constituição ou reestruturação de uma forma” (Debrun *et al*, 1996, p. 21). Ou seja, auto-organização ocorre quando as leis de evolução organizacional do sistema não são impostas exteriormente a ele.

Outra noção muito utilizada no discurso do pensamento complexo de Morin, que nem sempre é clara a todos, é a de transdisciplinaridade, a qual é estabelecida como uma característica importante no desenvolvimento do pensamento complexo.

A abordagem do termo é feita com grande profundidade por Nicolescu (1999, p. 47 a 63) no seu livro ‘O Manifesto da Transdisciplinaridade’, que têm suas idéias fundamentadas na física quântica. Porém, para o objetivo do presente trabalho serão apresentadas apenas algumas idéias mais gerais dessa proposta, a qual apresenta as seguintes diferenciações:

- Disciplinaridade (ou monodisciplinaridade): foco em uma disciplina, ou seja, o estudo de um objeto é restrito a um campo especializado de conhecimento.
- Multidisciplinaridade: abordagem que envolve uma pluralidade de disciplinas, mas sem integrar os conceitos e metodologias. Um objeto de uma disciplina é estudado por diferentes disciplinas, tal que o conhecimento sobre ele é aprofundado pela contribuição multidisciplinar, mas este enriquecimento ocorre a serviço apenas da disciplina do objeto. Ou seja, sua finalidade continua inscrita na estrutura da pesquisa disciplinar.

- Interdisciplinaridade: existe mais de uma disciplina envolvida no estudo, de modo que a fronteira entre elas é de alguma forma superada, tal que exista transferência de métodos de uma disciplina para outra, gerando novas aplicações para os conhecimentos existentes e, até mesmo, novas disciplinas. Mas, de certa forma, ainda permanece o enfoque no desenvolvimento disciplinar, inclusive contribuindo para surgimento de novas disciplinas.
- Transdisciplinaridade: “Diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, para qual um dos imperativos é a unidade de conhecimento” (*ibidem*, p. 51). A transdisciplinaridade alimenta-se da pesquisa disciplinar e das abordagens inter e pluri-disciplinar, complementando-as, tal que existem diferentes graus de transdisciplinaridade.

Conforme Morin (2002a, p. 50 a 51), as ciências clássicas são dotadas de aspectos de transdisciplinaridade, pois há uma unidade no método e de postulados implícitos em todas as disciplinas. Esses aspectos transdisciplinares são fundamentados na matematização e formalização, tal que a realidade foi unidimensionalizada. Assim, Morin afirma que o verdadeiro problema não consiste no ‘fazer transdisciplinar’, mas ‘que transdisciplinar é preciso fazer’, pois o saber atual ao ser feito é privado de direito à reflexão. Os princípios simplificadores [do paradigma mecanicista] são o verdadeiro entrave à transdisciplinaridade; são eles que devem ser transformados.

“[...] as fronteiras acadêmicas também estão desaparecendo. Apesar de toda resistência apresentada ao fato, uma parte cada vez maior do trabalho acadêmico está se tornando ‘transdisciplinar’” (Toffler e Toffler, 2007, p. 24).

Saberes fundamentais transdisciplinares

Os sete saberes estão associados a ‘buracos negros’ nos sistemas educacionais, que devem ser complementados na formação de cidadãos do futuro – em todos os níveis educacionais. Esses saberes são ‘provisórios’ no sentido de que podem se alterar, mas entende-se que até suprir a carência existente e o papel de transformar a que se

propõem, devam perdurar como necessários por muito tempo (baseado em Morin, 2000a, 13 a 115, Morin 2002a, p. 77 a 102).

1. As cegueiras do conhecimento: todo conhecimento comporta erro e ilusão. Todo conhecimento é tradução e reconstrução, influenciado pelo processo perceptivo, marcado pelo *imprinting* cultural, influenciado por paradigmas, desejos e emoções, ainda, sujeito a erro intelectual, pois envolve a interpretação de palavras e articulação da linguagem. Ou seja, o conhecimento adquirido não é um espelho do mundo. Quantas verdades científicas do passado se mostraram, aos olhos atuais, como sendo erro e ilusão, e quantas atuais se tornarão, aos olhos do futuro, também erro e ilusão. Um conhecimento totalmente objetivo é pura utopia. É necessário conhecer o processo de conhecer, com suas virtudes e limitações.
2. O conhecimento pertinente (a importância da contextualização complexa): Existe uma supremacia do conhecimento fragmentado que impede de apreender os objetos de estudo em seu contexto, em sua complexidade: o conhecimento científico, por si só, não trata de problemas epistemológicos, filosóficos e éticos. É a contextualização que torna o conhecimento pertinente, mas deve haver uma ‘contextualização retroativa complexa’, onde haja simultaneamente um conhecimento das partes ligadas ao todo e do todo ligado às partes em um circuito de retroação. “Unidades complexas, como o ser humano ou a sociedade, são multidimensionais: dessa forma, o ser humano é ao mesmo tempo biológico, psíquico, social, afetivo e racional. A sociedade comporta as dimensões histórica, econômica, sociológica, religiosa... O conhecimento pertinente deve reconhecer esse caráter multidimensional e nele inserir estes dados”. Existe uma falsa racionalidade, que elimina esse aspecto multidimensional em valorização de alguns poucos aspectos. “O conhecimento progride, principalmente, não por sofisticação na formalização e na abstração, mas através da capacidade em contextualizar e em globalizar⁷⁶. Essa capacidade necessita de uma cultura geral e diversificada” (Morin *apud* Martins & Silva, 2000 p. 41). “Se nos faltam

⁷⁶ Globalizar, no sentido que Morin quer dar, é equivalente ao termo adotado ‘contextualização retroativa complexa’, com o intuito de evitar associação com a ‘globalização’.

conhecimentos contextualizamos muito mal” (Morin *apud* Pena-Vega & Nascimento, 1999, p.33)

3. A condição humana: deve-se tomar consciência da individualidade complexa própria e da sua individualidade comum a todos os outros. Existe uma fragmentação não tratada da resposta à questão “Quem somos nós?”. A cosmologia trata da evolução cósmica, a biologia mostra a natureza orgânica e evolutiva, como organismo e espécie, a sociologia mostra a dinâmica social, a história a evolução como civilização, a economia o caminho econômico, e assim por diante, mas tudo isso se encontra separado. O conhecimento da condição humana não se resume às ciências; a literatura e a poesia, por exemplo, desempenham um grande papel nesse conhecimento. Deve-se ter consciência do *homo complexus*, daquilo que nos distingue e daquilo que nos une.
4. A compreensão humana: visa compreender o ser humano não apenas como objeto mas também como sujeito; envolve a missão de ensinar a compreensão entre as pessoas como condição e garantia da solidariedade intelectual e moral da humanidade. Compreender inclui um processo de empatia e compreensão de si mesmo, as carências e fraquezas de um indivíduo o tornam implacável com as carências e fraquezas dos outros.
5. Enfrentar as incertezas: tradicionalmente o que se busca ensinar são as certezas, mesmo quando a própria ciência é obrigada a lidar com as incertezas. O mundo mecanicista foi abalado e a ciência moderna tem que negociar com o incerto cada vez mais: na física quântica, na termodinâmica longe do equilíbrio, na história da civilização e na própria evolução da vida. Sob essa questão princípio da ‘ecologia da ação’ torna-se algo muito importante. O futuro da saga humana é desconhecido, o futuro chama-se incerteza. Conforme Morin “o conhecimento é a navegação em um oceano de incertezas, entre ilhas de certezas”. A verdadeira aventura do homem é aprender a enfrentar a incerteza.
6. A identidade terrena (era planetária): é necessário conhecer não só a condição humana, mas também a condição do mundo humano. Precisa-se conhecer a história planetária, a relação com a história humana e como o mundo se

transformou no mundo atual. É preciso ter uma noção mais crítica de desenvolvimento, do progresso infinito. É preciso ter consciência de problemas de ordem planetária, de sua natureza organizacional. Precisa-se ter uma cidadania terrestre, ou terráquea, isto é, uma identidade terrena, planetária. “É necessário aprender a ‘estar aqui’ no planeta”.

7. A ética do gênero humano (‘antropoética’): a concepção complexa do gênero humano comporta a tríade: espécie – indivíduo – sociedade. Além de serem elementos inseparáveis, são produtores um do outro. A relação ‘indivíduo – sociedade’ envolve ensinar a democracia. A relação ‘espécie – indivíduo’ envolve a solidariedade planetária: “Kant já dizia que a finitude geográfica de nossa terra impõe aos seus habitantes o princípio de hospitalidade universal, que reconhece ao outro o direito de não ser tratado como inimigo”. Pode-se complementar a proposta de Morin incluindo neste tópico a questão da bioética.

Tomando como base a própria afirmação de Morin (Mendes, 2003, p. 77): “O pensamento complexo é, portanto, essencialmente, o pensamento que lida com a incerteza e que é capaz de conceber a organização”, sugere-se considerar o saber ‘enfrentar as incertezas’ como central.

Morin reconhece que a proposta dos sete saberes fundamentais encaminhada ao Ministério da Educação da França não foi implementada, e atribui isso a uma resistência natural do pensamento e das estruturas já institucionalizadas no ensino em geral, com críticas especiais às Universidades. Como estratégia, sugere e incentiva a criação de ‘Institutos da Cultura Fundamental’, independentes ou ligados às Universidades – o que é uma realidade hoje, conforme visto no capítulo 2 (baseado em Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 26, Morin, 2002a, p. 20 a 25).

Entretanto, como sugestão, resultado de um processo analítico do conteúdo de cada saber – sob uma perspectiva um tanto estruturalista – propõe-se considerar o saber ‘enfrentar as incertezas’ como central, e considerar os demais saberes divididos em dois grupos (ver figura 40): “mais amigáveis às ciências ‘mais’ *hard*” e “mais

amigáveis às ciências ‘mais’ *soft*”, de tal forma que, como estratégia de implementação, esses conteúdos seriam ‘gradualmente’ incluídos em blocos, de acordo com a afinidade desses com a natureza do curso universitário.

Figura 40: Saberes fundamentais transdisciplinares

Como exemplo de um caminho interessante – fruto do estudo em ciências aplicadas, ou seja, da complexidade na ciência, e não diretamente da proposta do pensamento complexo –, há o caso do Professor Nassim Nicholas Taleb, autor do livro: “*The Black Swan: The Impact of the Highly improbable*”, que está envolvido com as disciplinas: *Sciences of Uncertainty*, University of Massachusetts - Amherst. e *The Psychology of Ecological and Nonludic Uncertainty* – London Business School/ Decision Research Laboratory.

Pensamento “mais” complexo em ação

Não se pode esperar uma metodologia, um modelo pronto, acabado, para aplicação do pensamento complexo. O pensamento complexo está mais relacionado a supra-conceitos a serem utilizados em diferentes contextos de decisão e ação humana. Sua

proposta transdisciplinar considera os conteúdos disciplinares: “Embora a transdisciplinaridade não seja uma nova disciplina, nem uma nova hiperdisciplina, alimenta-se da pesquisa disciplinar que, por sua vez é iluminada de maneira nova e fecunda pelo conhecimento transdisciplinar” (Nicolescu, 1999, p. 52).

Entende-se, então, que na gestão empresarial não se pode prescindir das teorias organizacionais, o pensamento complexo presta-se a criar e reorganizar dentro de uma perspectiva sistêmica ampliada complexa, buscando contextualizar, dinamizar, integrar a incerteza, estabelecer uma consciência planetária, autônomo-dependente e auto-organizadora. Em suma, busca-se contribuir com uma perspectiva ‘mais’ complexa dentro da disciplina de gestão.

Os preceitos do pensamento complexo podem ajudar a orientar e reorientar a ação dentro de qualquer campo de conhecimento, desde que haja conhecimento pertinente. Em muitos casos, não se trata necessariamente de se obter algo inovador, mas que seja mais adequado de forma sistemicamente complexa, consistentemente flexível e com maior consciência humano-planetária.

Saberes não-científicos das humanidades

Um aspecto considerado fundamental está relacionado a uma questão específica da contextualização: os saberes não científicos das humanidades. Uma abertura para esses conhecimentos integrando-os e realizando a contextualização recursiva é fundamental para o desenvolvimento do pensamento ‘mais’ complexo no âmbito que se propõe.

Por exemplo, como citado, o efeito popular da ‘teoria do caos’ não pode ser relegado ao se considerar uma proposta de mudança de paradigma. Representa no mínimo o interesse por novos recursos, ou metáforas, para lidar com a realidade. Da mesma forma não se pode ficar alheio aos debates e críticas em torno do tema (nem sempre com posturas consideradas eticamente corretas, como será visto no capítulo 14).

A abertura para novas contribuições filosóficas, e como esses discursos se relacionam com a complexidade, torna-se fundamental. Por exemplo, o filósofo Fourez Gerard (1995, p. 253) cita que a ciência pode ser explicada pela noção de “estruturas dissipativas”, da física do não equilíbrio de Prigogine.

Discussão sobre conceitos das ciências da complexidade

Ao observar os textos de Edgar Morin pode-se perceber a intenção da sua proposta servir como ponte entre os discursos científicos e filosóficos. “O pensamento complexo não se reduz nem à ciência, nem à filosofia, mas permite comunicação mútua, fazendo o intercâmbio entre uma e outra” (Mendes, 2003, p. 77).

A expressão comum no meio sociológico: “todo autor é protagonista de seu tempo” – do seu contexto histórico-cultural – parece implacável, até mesmo para a genialidade de Edgar Morin. A sua proposta de pensamento complexo reflete sua forte relação histórica com a Cibernética e a Teoria Geral de Sistemas, com físicos quânticos e da termodinâmica do não-equilíbrio (em especial Prigogine) e ainda, com a biologia de Maturana e Varela. Não se trata de desmerecer seu cabedal de conhecimentos diversificados, nem outros autores importantes, mas apenas considerar que seus próprios textos, quando estabelecem uma referência mais científica, refletem essa influência significativa, com principal destaque para Teoria Geral de Sistemas e cibernética, e em certos casos a teoria da informação, conforme os textos selecionados abaixo.

“O problema que se coloca atualmente não é o de substituir a certeza pela incerteza, a separação pela inseparabilidade ou a lógica clássica por não sei o quê. Trata-se de saber como vamos fazer para dialogar entre certeza e incerteza, separação e inseparabilidade etc. E para chegar a isso, creio que Laborit é bem explícito a esse respeito: é preciso começar por utilizar a teoria dos sistemas, a cibernética e a teoria da informação. É o que podemos chamar de as três teorias, que formam uma trindade” (Morin *in* Pena-Vega e Nascimento, 1999, p. 27).

“Na época contemporânea, o pensamento complexo elabora-se nos interstícios das disciplinas, a partir de pensadores matemáticos (Wiener, von Newman, von Foerster) [cibernéticos], especialistas em termodinâmica (Prigogine), biofísicos (Atlan), filósofos (Castoriadis). As duas revoluções científicas do século só podiam estimulá-lo. A primeira revolução introduz a incerteza com a termodinâmica, a física quântica e a cosmofísica [relatividade], desencadeando reflexões epistemológicas de Popper, Kuhn, Holton, Lakatos, Feyerabend; estes mostraram que a ciência não era certa, mas a [seguinte] hipótese: que uma teoria provada não o era definitivamente, e permanecia ‘falseável’, que havia do não-científico (postulados, paradigmas, *themata*) no coração da própria cientificidade. A segunda revolução científica – mais recente e inacabada –, a revolução sistêmica, introduz a organização nas ciências da terra e a ciência ecológica; ela se prolongará sem dúvida, em revolução de auto-organização na biologia e sociologia” (Morin *in* Martins e Silva, 2000, p. 36).

Um dos principais pontos de partida do pensamento complexo são os fundamentos da Teoria Geral de Sistemas, os quais são reconhecidos como insuficientes por serem carentes de reflexões mais profundas, quanto ao próprio conceito de sistemas. Mas também, é reconhecido que essa teoria ficou limitada quanto à sua intenção de modelagem do comportamento dos sistemas complexos, devido aos recursos computacionais limitados da época e à matemática clássica linear.

É importante observar que, no caminho da construção do pensamento complexo, as reflexões e a integração de idéias filosóficas mais profundas relacionadas à abordagem sistêmica estiveram atreladas, e não há como negar – principalmente em função do conteúdo do livro ‘Método I’ –, o desenvolvimento das pesquisas de dinâmicas de sistemas da natureza, tanto viva quanto inanimada – devido, principalmente, mas não apenas, a Prigogine e Maturana/Varela, como já citado. Portanto, é notório que existe um processo co-evolutivo entre o desenvolvimento científico e o filosófico.

A proposta do pensamento complexo só foi possível pelo transitar competente de Morin, combinando genialidade e uma capacidade de pesquisa monumental, entre ciências e filosofia, voltada para uma abordagem sistêmica que considerou os conhecimentos derivados da dinâmica de sistemas complexos da natureza, a partir da qual procurou integrar sistemicamente o homem na realidade cosmológica, planetária, biologia e socioeconômica.

Certo distanciamento de Morin das diversas contribuições relacionadas à evolução dos estudos do comportamento dos sistemas complexos, proporcionada pela intensa produção ‘multidimensional’ de contribuições nas Ciências da Complexidade, até pode ser explicado. Pois trataria de se exigir ainda mais de quem vem realizando uma tarefa quase que sobre-humana na religação dos saberes e na transformação do paradigma mecanicista; entretanto, entende-se que tal distanciamento não é justificado.

Estando os alicerces do pensamento complexo imbricados com o conhecimento científico das dinâmicas de sistema, faz-se necessário estar permanentemente próximo, ao lado e até mesmo dentro, do desenvolvimento científico voltado para o comportamento complexo de sistemas – uma área onde a não-linearidade existente mostra o quão distante se está de um ‘conhecimento acabado’, o qual nunca existirá pela perspectiva complexa do conhecimento.

Também não se justifica tal distanciamento, pela atual tendência do desenvolvimento e aplicação desses novos conhecimentos estarem voltados, predominantemente, para a realidade das dinâmicas sociais, ou seja, para colaborar no entendimento da dinâmica social do *homo complexus* – mesmo que ainda destituída em grande parte da humanidade do sujeito como agente.

A figura 41 procura representar de uma forma bem sintetizada a relação do desenvolvimento de duas perspectivas: o ‘desenvolvimento da perspectiva de sistemas nas ciências’ e o ‘desenvolvimento da perspectiva do pensamento voltado

para sistemas’. A representação dessa co-evolução procura demonstrar o possível *gap* de conteúdo da proposta do pensamento complexo devido ao distanciamento do desenvolvimento das ciências da complexidade, em especial os mais recentes, salientando a necessidade da dinâmica evolutiva de um pensamento ‘mais’ complexo.

Figura 41: Possível *gap* entre ciência e pensamento na abordagem de sistemas

10.4. Perspectivas da complexidade: críticas e tendências

Críticas

Desde a separação entre ciência e filosofia, o desenvolvimento da ciência esteve envolvido em dois grandes debates: a natureza e a validade do conhecimento científico que produz e legitima as transformações do mundo [relacionado à busca da verdade]; a natureza, o sentido e as conseqüências das transformações provocadas pela ciência [relacionado à busca do bem e, em certo sentido, do belo] (baseado em Santos, 2004, p. 18 e 19).

O paradigma mecanicista está posicionado em defesa da ciência como detentora da verdade absoluta, voltada para uma produção do conhecimento de forma neutra, com elementos operatórios de experimentação e modelagem matemática. Porém, como qualquer conhecimento, não poderia dar conta de todos os problemas, talvez até porque alguns nem tenham solução. Assim, nas palavras de Kuhn (1997, p. 60):

“Já vimos que uma comunidade científica, ao adquirir um paradigma, adquire igualmente um critério para escolhas de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, poderemos considerar como dotados de uma solução possível. [...] Assim, um paradigma pode até mesmo afastar uma comunidade daqueles problemas sociais relevantes que não são dedutíveis à forma de quebra cabeça, pois não podem ser enunciados nos termos compatíveis com os instrumentos e conceitos proporcionados pelo paradigma”

Parte da sociedade, mesmo não compreendendo a ciência, vê-se “submergida em problemas muitas vezes por ela indiretamente criados, e inquietações (por exemplo de ordem espiritual) para as quais ela não está, de modo algum, habilitada a dar resposta” (Jorge, 2001, p. 70). Surge na sociedade um movimento “pós-moderno”, que inclui uma reação à ciência tradicional e prega uma ciência “pós-moderna” – que é mais confundida com pseudo-ciência. Mantendo a discussão desse movimento à

parte⁷⁷, é fato que existem facções que se afastam da discussão da ciência no seu nível operatório, e da evolução nesse sentido, para discutir a ciência apenas no nível interpretativo-simbólico, reduzindo, muitas vezes, a ciência ao senso comum (baseado em *ibidem*, p. 67).

Os abalos do paradigma mecanicista não significam o fim do mecanicismo em si e tampouco da ciência. Deve-se estar atento à realidade: com novos recursos tecnológicos e novos conceitos, a evolução da ciência possibilita a integração dos conhecimento provenientes do mecanicismo a um conjunto de saberes mais complexos. A verdadeira aproximação da ciência com a filosofia não pode estar circunscrita por um romantismo inocente, mas deve envolver um pensamento que possibilite:

“[...] uma consideração global sobre todas as dinâmicas em que se inscreve na produção do conhecimento científico, certa compreensão do que significam as ciências no conjunto da experiência humana, quais são os seus pressupostos ou a natureza dos obstáculos que encontram e os seus esforços para recuperar” (*ibidem*, p. 53).

As ciências da complexidade e o pensamento complexo desenvolvem-se dentro desse ambiente polêmico, típico de transição de um paradigma. E por envolverem novos recursos e não se limitarem aos fundamentos da física-matemática newtoniana, são tomados como forma de legitimação do movimento ‘anti-ciência’ por determinados grupos ‘pós-modernistas’ – principalmente em função dos estudos envolvendo fenômenos coletivos emergentes. Complexidade não pode ser associada, de forma alguma, a um movimento anti-científico; pós-modernista, talvez.

Na década de 1990 eclode o que alguns denominaram como ‘guerras da ciência’, que trata da questão do que deveria ser julgado como ciência ou como pseudo-ciência. Um dos protagonistas foi o físico Alan Sokal, que em 1996 teve um artigo aceito e publicado na revista americana *Social Text*, o qual era uma farsa com um conteúdo

⁷⁷ Não faz parte do escopo desse trabalho.

desmedido, que continha citações de intelectuais famosos que abusavam da terminologia e conceitos científicos utilizados sem fundamentação (Sokal e Bricmont, 1999, p. 9 e 10).

Como Sokal e Bricmont observam (*ibidem*, p. 135 a 146, 181 a 184) existem situações mal compreendidas que são utilizadas inadequadamente e estabelecidas como referências para pensadores posteriores. Porém, os próprios autores reconhecem que as novas teorias – no caso caos e fractais – fornecem novas ferramentas e chamam a atenção para novos problemas e, conseqüentemente, novos objetos de estudos. Os autores também são coerentemente críticos quanto a tentativas precipitadas de aplicações da matemática da teoria do caos em situações sociais, especificamente na gestão empresarial, e também quanto à confusão feita entre essa teoria e outros desenvolvimentos das ciências da complexidade – apesar de não usarem o termo ciências da complexidade, nem tampouco apresentarem afinidade com os avanços dessas na exploração virtual.

Uma crítica central desses autores é o uso de ‘metáforas’ pelas demais ciências com base na terminologia das ciências naturais. Advogam que os termos científicos possuem significados específicos em contextos científicos próprios: “As ciências naturais não são um mero reservatório de metáforas prontas para serem empregadas nas ciências humanas. [...] Caso sejam usados [os termos] apenas como metáforas, pode-se ser levado facilmente a conclusões sem sentido” (*ibidem*, p. 205).

Entretanto, a questão da metáfora como recurso para o desenvolvimento de conhecimento requer uma reflexão mais profunda. Primeiramente, como argumenta Contencas (1999, p. 65 a 96), existe a crença positivista que a única linguagem a ser utilizada pela ciência é a formal, resultante dos sistemas dedutivos, devendo-se ignorar a metáfora e a analogia. Porém, como observa a autora, estudos demonstraram que metáforas estão presentes na formulação e exposição de teorias científicas, até porque para descrever novas relações, que ainda não possuem termos, a metáfora é um recurso de linguagem utilizado – mesmo que nem sempre de maneira feliz, como a teoria do caos. “As metáforas constitutivas da teoria servem

para introduzir uma terminologia referente a aspectos do mundo cuja existência parece provável, mas que muitas das suas propriedades fundamentais ainda estão por descobrir”. Ressalta-se que quando se conhece a base da analogia, o uso da metáfora é essencial para desenvolvimento da teoria.

Zeidan e Fonseca (in Gershenson, 2007, p. 173 a 179) estabelecem como proposta dois níveis epistemológicos de evolução multidisciplinar da ‘teoria da complexidade’ [entenda-se ciências da complexidade]: o primeiro seria o nível metafórico [que estaria relacionado a um nível simbólico-interpretativo], e o segundo o nível empírico, no qual as aplicações ocorrem [nível operacional]. Os autores afirmam que a metáfora representa uma poderosa forma de *insight*, mas é neste nível metafórico que muitos problemas epistemológicos surgem devido à falta de rigor. Afirmam que metáforas ocorrem como parte da mudança de paradigma que levam à emergência de novas teorias. Ponderam que metáforas devem ter consistência interna, e parece que em muitas transposições da complexidade para outras áreas científicas esta consistência está sendo perdida.

Na gestão organizacional o uso da metáfora é defendido por Morgan (2002, p. 21 a 27), que a vê como uma oportunidade de alargar pensamentos e aprofundar o entendimento, permitindo novas maneiras de ver as coisas e agir. Contudo, reconhece que ela pode criar distorções e ser potencialmente enganosa, pois induz a identificar semelhanças, mas ignora as diferenças, o que a torna paradoxal: a maneira de ver criada pela metáfora se torna uma maneira de não ver. Assim, considera Morgan, as teorias de administração sempre são criadas com base em alguma metáfora, contendo um elemento de verdade, mas que, ao mesmo tempo, nega a complexidade das realidades às quais as teorias devem ser aplicadas.

Assim, conclui-se:

- O uso intenso de metáforas das ciências da complexidade em outras áreas é um dos indícios de uma mudança de paradigma – como sugerem Zeidan e Fonseca.

- As metáforas com base nas ciências da complexidade devem ter consistência interna, o que requer domínio do conhecimento de sua origem para a possibilidade de uso adequado em outras disciplinas – perigo de uma vulgarização de conhecimentos científicos que pode retardar a transição de fase do paradigma mecanicista.

Em suma, a questão não é o uso da metáfora em si, mas como se faz uso dela.

Outra crítica, da mesma época, envolvendo as ciências da complexidade foi relacionada ao lançamento do livro: ‘O fim da ciência’, de autoria de Horgan (1998, p. 279), um jornalista da ciência que afirmou:

“Os ramos do caos, da complexidade e da vida artificial vão continuar. [...] desenvolverão novas técnicas matemáticas e computacionais para fins de engenharia. Farão mais progressos, como aumentar o alcance da previsão do tempo [pouco provável que haja grandes avanços nesse sentido] ou aperfeiçoar a capacidade dos engenheiros para simular o desempenho de jatos ou outras tecnologias complexas. Mas não propiciarão nenhuma grande compreensão da natureza – certamente nada comparável à teoria da evolução de Darwin ou à mecânica quântica. Não nos obrigarão a fazer nenhuma revisão significativa em nosso mapa da realidade ou em nossa narrativa da criação”.

O professor do MIT e cientista Alwyn Scott (Scott, 2007, p. 98) desafia Horgan a manter sua opinião após a leitura do seu livro e as aplicações apresentadas por ele. Entende-se que tais críticas estão baseadas em um foco tecnicista simplista, ou até mesmo dotadas de um caráter jornalístico sensacionalista. Pois, as questões mais recentes envolvidas com as ciências da complexidade estão relacionadas com estudos de dinâmicas sociais que afetam a nossa realidade meso. De fato, a busca por explicações de certos fenômenos sociais (tais como *six degree*, links fracos e ‘ponto de desequilíbrio’) levou ao estudo de simulações computacionais envolvendo dinâmicas de agentes, ou *networks*, que propiciaram explicações satisfatórias para os

cientistas sociais de como as dinâmicas por trás dos padrões sociais emergentes podem ocorrer, que dificilmente poderiam ser entendidas de outra forma. Como afirma o sociólogo Sawyer (2005, p. 169): “sociedades artificiais proporcionam uma nova perspectiva para a emergência social”.

Tendências

Com relação às ciências da complexidade aumenta-se a tendência de explorar dinâmicas sociais utilizando-se modelos baseados em agentes e as recentes contribuições da teoria de *networks*, ainda em desenvolvimento. Há uma possibilidade dessas duas áreas de estudo se integrarem ao longo tempo.

Para os sistemas produtivos, que exploram a questão dos *networks* de negócios, principalmente sob teorias socioeconômicas, o desenvolvimento de princípios gerais relacionados à dinâmica de *networks* pode ser de grande valia para colaborar no entendimento e desenvolvimento de dinâmicas de negócios adequadas – nem que seja para orientação de pesquisas sob essas novas perspectivas.

Quanto ao pensamento ‘mais’ complexo, sua importância como ponte entre as ciências e a filosofia é fundamental. Formas de integração à realidade educacional e na prática dos negócios devem ser discutidas envolvendo grupos multidisciplinares. O distanciamento do pensamento ‘mais’ complexo do desenvolvimento das ciências que exploram sistemas complexos é um fator preocupante. Sem um ‘mapa’ conceitual envolvendo reflexões mais profundas, pode levar movimentos mais ‘humanistas’ ao uso inadequados de metáforas e a outras posturas anti-científicas, o que não colabora em nada no desenvolvimento das perspectivas da complexidade. Principalmente se tais movimentos forem ‘recheados’ com discursos da complexidade.

Observa-se uma concordância entre ciências da complexidade e pensamento ‘mais’ complexo quanto a determinados conceitos chaves (ou noções fundamentais): emergência, auto-organização e dinâmica organizacional evolutiva.

4ª PARTE – COMPLEXIDADE NA GESTÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS

11. APLICAÇÃO PRÁTICA: ESTUDO DE CASO COM OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE.

A aplicação prática está fundamentada na idéia de auto-organização, explorada pelos estudos de Sistemas Adaptativos Complexos, aplicada ao desenvolvimento e implementação de um sistema de solução de problema em uma unidade industrial do ramo de Agrobusiness. Serão considerados dois períodos: desenvolvimento e implementação; proposta de melhorias com base na teoria de *network*.

11.1. Sistema auto-organizado de solução de problema aplicado à indústria de Agronegócio.

O material apresentado está baseado no artigo apresentado no 19th *International Conference on production Research* por Borgatti e Fleury (2007): *Self-organized system for production problem solving – Complexity Approach*.

Período 1: Desenvolvimento e implementação

Será relatado o caso de uma empresa do ramo agroindustrial, cujo processo de implementação do sistema auto-organizado de solução de problemas em ambiente de rede foi realizado no ano de 2000.

Essa empresa já adotava métodos tradicionais de solução de problemas oriundos de programas de qualidade total. Assim, havia pelo menos seis anos de experiência na prática de solução de problemas – denominados de anomalias – utilizando modelos estruturados de solução de problemas. A prática envolvia responsabilidade centralizada para cada problema, tratamento através de reuniões e e-mails, seguindo um roteiro e ferramentas básicas pré-determinadas pelo método pré-estabelecido.

Havia uma lógica de cliente-fornecedor com uma visão de relação linear de causa e efeito imediato. Assim, um problema surgindo em uma área era encaminhado ao seu “fornecedor” para que esse providenciasse a solução. O registro de uma reincidência era encaminhado à hierarquias superiores na expectativa de cobrança mais enérgica para efetiva solução do problema.

Para desenvolvimento do novo processo de solução de problema, tomou-se como base as idéias de auto-organização relacionadas a sistemas complexos adaptativos. Foram estabelecidas as seguintes premissas para orientar o desenvolvimento do novo sistema auto-organizado de solução de problemas:

- Problema passa ser denominado, e conceitualmente entendido, como “anomalia”, enfatizando-se a importância de analisar o fenômeno não previsto com uma perspectiva mais complexa inserida em um sistema dinâmico.
- O sistema de tratamento da anomalia faz parte de um outro sistema maior: o sistema organizacional.
- O sistema de tratamento de anomalia deve estar voltado para permitir e agilizar conectividades entre as pessoas, para tanto, deve utilizar redes informatizadas como recurso, tipo intranet.
- Uma anomalia percebida deve ser entendida como uma manifestação de um efeito sistêmico que afeta uma determinada área. Isso significa que não existem áreas problemáticas isoladamente, apenas áreas cujos efeitos de anormalidade do sistema se manifestam lá de forma percebida
- Do ponto de vista sistêmico, anomalias seriam efeitos de processos inter-relacionados, muitas vezes decorrentes de relações distantes no tempo e espaço, e de natureza circular. Isso significa que se alguém for procurar por culpado para uma anomalia percebida, se for a fundo poderia chegar em si mesmo.
- A diversidade na participação pode proporcionar a evolução mais rápida do sistema organizacional. Assim, mesmo um problema aparentemente restrito à uma área funcional pode gerar maior aprendizado e evolução organizacional quando tratado por participantes de outras áreas.

- O sistema de tratamento de anomalia deve contemplar regras simples de participação. Pois, em sistemas complexos auto-organizados, com muitas interações, regras simples bastam para emergir padrões complexos
- As relações entre os agentes participantes envolvem causalidade circular, o que significa uma relação recorrente entre os agentes, tal que o processo interacional pode fazer com que posições estabelecidas sejam revistas, ampliadas ou complementadas.
- O sistema evolui com a prática de utilização do próprio sistema, tal que a forma como o sistema está organizado e as próprias regras de participação podem se modificar ao longo do tempo.
- Grupos diferentes tratando o mesmo problema podem gerar diferentes soluções, ou até mesmo um mesmo grupo em momentos diferentes pode gerar diferentes soluções para um mesmo problema.
- Para ser caracterizado como um sistema deve haver uma estrutura mínima, que no caso será estabelecida por um ambiente virtual estruturado para a participação, registro histórico e classificação da informação.
- Apesar de seu funcionamento não exigir uma coordenação central, agentes externos (como gestores e especialistas com acesso ao sistema) podem atuar como motivadores interacionais, facilitadores e catalisadores do processo evolutivo.

É importante observar que não se trata da criação de um “mundo virtual”, mas de um ambiente virtual em rede onde pessoas com acesso a essa rede possam participar para tratar uma anomalia percebida, seja iniciando o processo ou seja quando solicitada para colaborar no desenvolvimento da solução. Assim, cada problema envolve uma “comunidade virtual” que interage segundo regras simples de participação, podendo envolver pessoas distantes geograficamente e de forma independente da hierarquia.

A partir de uma anomalia relatada pode até haver um roteiro de referência, nos moldes clássicos da sequência de solução de problemas, mas as participações não têm obrigatoriedade de seguir um roteiro linear o qual serve apenas como para categorização da participação. O sistema permite aos participantes solicitar a colaboração de qualquer um com acesso a rede.

Quanto à utilização de técnicas específicas para cada tipo de participação, tais como métodos estatísticos, fica a cargo da autonomia de cada participante e conseqüentemente do estágio de domínio de ferramentas gerenciais e analíticas pelos colaboradores. O encerramento da anomalia pode ser de responsabilidade de quem abriu, ou deixar a cargo do gestor da área afetada para que ele seja necessariamente envolvido no processo. Os registros permanecem ao longo do tratamento da anomalia, como em uma lista de discussão, só que de forma mais organizada. Existem relatórios gerenciais que indicam as anomalias em aberto, por tempo, por área e até por tipo de anomalia caso haja interesse em classificação das mesmas.

Com base em entrevistas realizadas em 2005 com o diretor-superintendente responsável pelo negócio e seus principais gestores, e ainda de observações de campo realizadas ao longo desses anos, apresentamos a seguir uma síntese das questões mais relevantes apontadas pelos executivos entrevistados:

Condições iniciais (antes do sistema auto-organizado):

- *Quanto à hierarquia:* até 1998 o estilo de liderança adotado pelo principal gestor era bastante centralizador e autoritário, mas houve uma inversão de valores com uma nova liderança a partir dessa data, criando-se um estímulo para uma gestão mais participativa.
- *Práticas anteriores:* havia um sistema estruturado, não informatizado, de relato e solução de problemas. E o método acabava sendo utilizado apenas quando a situação estava crônica e, envolvia poucas pessoas consideradas qualificadas para conduzir o método de solução de problemas.
- *Aspectos positivos e negativos das práticas anteriores:* quanto aos aspectos negativos, o sistema caracterizava-se por busca de culpados, apesar de não ser “vendido” como tal. Isso estava relacionado à lógica de enviar o relato de anomalia para área que seria a pretensa geradora do problema. Assim, havia uma espécie de pacto de mediocridade onde um não relatava o problema para o outro, não havendo registro efetivo das anomalias ocorridas, procurando-se sempre dar

um “jeitinho” no efeito (o que impedia aprendizado organizacional). Também, por ser conduzido de forma presencial, normalmente restringia-se às pessoas próximas do escritório, não envolvendo supervisores de fábrica e pessoal de campo, como consultores de venda e especialistas técnicos. Havia dificuldade de acompanhamento, mesmo para os participantes da solução do problema, pois os registros eram centralizados numa área. Quanto aos aspectos positivos é que o sistema funcionou para solucionar certos problemas crônicos, apesar de exigir um esforço de controle e cobrança. Também é bom ressaltar que o treinamento nas ferramentas foram realizados de forma ampla para as pessoas-chave, e mesmo constatando-se que as ferramentas não estavam sendo naturalmente utilizadas, permitiu harmonizar a linguagem e tornar o raciocínio mais analítico.

Após utilização o sistema auto-organizado:

- *Contribuição para a visão sistêmica*: a abordagem de buscar colaboração para tratar um efeito do sistema trás uma nova postura de responsabilidade compartilhada pelo resultado empresarial, até porque a equipe é auto-eleita. O envolvimento e a comunicação com pessoas distantes melhoraram muito a qualidade do entendimento da situação e das propostas de ação, permitindo efetivamente a aprendizagem organizacional. A questão central não é o método ou a utilização de estatística, mas a participação das pessoas, o compromisso com as ações a serem realizadas e o efetivo entendimento do que significa a anomalia.
- *A ausência de uma liderança central*: No sistema auto-organizado de tratamento de anomalia apesar de não se estabelecer uma liderança para coordenar ela ocorre em alguns casos de maneira “velada”, sendo até necessária, pois existem pessoas que precisam de ajuda para se tornarem “auto-estimuladas”, principalmente no início. Os gestores, na maioria das vezes entenderam que devem atuar como estimuladores, não tomando necessariamente a coordenação para si, apenas contribuindo com informações relevantes e inserindo questionamentos para estimular abordagens mais profundas dos participantes. Certos gestores perceberam que quanto mais preparadas e maduras profissionalmente as pessoas

estiverem, melhor e mais autônomo o sistema funciona. Assim, estes gestores passaram a utilizar o próprio sistema como recurso de desenvolvimento gerencial.

- *A delegação de poder e as relações multifuncionais*: a evolução da qualidade das contribuições pelos colaboradores torna-se visível ao longo do tempo. Considera-se que foi importante muito apoio externo no início, assim como a participação direta do principal gestor no tratamento de várias anomalias e a realização de workshops de discussão de casos de tratamento de anomalia. Como o ambiente dentro do negócio estava propício a maior integração, não houve grandes problemas entre as diferentes áreas funcionais, apenas no início no processo houve a necessidade de reeducar a postura diante de problemas e da importância desses para o desenvolvimento organizacional e profissional.
- *Aceitação dos níveis gerenciais*: Não houve nenhum tipo de resistência declarada, apesar de haver por parte de alguns gestores uma certa passividade na utilização do sistema como ferramenta gerencial para melhoria do desempenho da organização, principalmente dos gestores mais voltados para ação imediata sobre efeitos e com certa dificuldade de delegação. Eventualmente há uma “recaída” de perda de visão sistêmica, onde os problemas relatados pela própria equipe dentro de uma área dão a sensação de ameaça pela “exposição” de problemas aparentemente localizados, mas esse não é um pensamento predominante. Nas reuniões gerenciais procura-se sempre discutir a área não como problemática, mas como afetada pelo sistema e necessitando de colaboração multifuncional. Há consciência que, normalmente, o potencial de melhoria está na colaboração das interfaces. Ressalta-se que, para a gerência intermediária, os treinamentos conceituais e os workshops foram fundamentais.
- *Sistema como avaliador de desempenho dos participantes*: Apesar do sistema permitir identificar a qualidade e o esforço da participação individual, não é utilizado como ferramenta formal para tal. Mas, na prática, por permitir clarificar e identificar necessidades profissionais dos participantes, o acompanhamento das contribuições orienta os gestores no desenvolvimento personalizado de seus subordinados. Algo que reconhecidamente se tornou visível para os gestores é que existe um pequeno grupo mais envolvido, e conseqüentemente mais desenvolvido, o qual é efetivamente responsável pelas melhores contribuições. Assim, um

desafio atual é como garantir naturalmente uma maior participação e o desenvolvimento dos demais colaboradores.

- *Desenvolvimento da aprendizagem:* Entende-se que o sistema garante efetivamente a aprendizagem diante dos problemas que ocorrem, principalmente pelo ambiente virtual. É comum um tratamento de anomalia com mais de 6 intervenções envolvendo diferentes áreas funcionais e distantes geograficamente.
- *Quanto à evolução do sistema:* É um sistema que amadurece ao longo do tempo, entende-se que anos são necessários para amadurecimento do seu uso. Percebe-se que ele possui uma relação recorrente com o sistema organizacional, tal que, uma nova planta ou uma mudança significativa, seja tecnológica ou gerencial, o sistema funciona com um termômetro da dinâmica organizacional. Assim, em momentos turbulentos é esperado um aumento do número de anomalias e sua posterior diminuição pelo aprendizado de novas situações organizacionais. A análise de reincidências de anomalias caracteriza a necessidade de novas abordagens e pode indicar a necessidade de novos conhecimentos no tratamento das mesmas. Certas situações que envolveram maior complexidade tecnológica exigiram, muitas vezes, uma condução mais estruturada, normalmente na forma de um projeto a ser conduzido.
- *Oportunidades de melhoria do sistema:* Reconhece-se que existem oportunidades para melhorar o sistema, algumas identificadas foram: obter uma forma de amarração entre diferentes anomalias que estariam relacionadas; garantir efetivamente uma participação mais abrangente; permitir anexar documentos dentro do próprio sistema, para evitar a necessidade de complementá-lo com o uso de diretórios comuns para os participantes; assegurar o entendimento conceitual do sistema e de sua importância, principalmente para novos entrantes.
- *Como seria hoje se fosse proposto não utilizar o sistema:* fica claro que a equipe não concordaria e muito menos o gestor principal, cuja frase reflete esse pensamento: “não consigo imaginar o gerenciamento da minha unidade de negócio sem esse sistema”. É um sistema que se ajusta e auxilia no desenvolvimento das pessoas e das necessidades da empresa e sua contribuição parece estar além da estabilização de um desempenho (essa unidade de negócio vem crescendo em rentabilidade e produtividade nos últimos anos). Surgiram

mais lançamentos de produtos e inovações organizacionais nesses últimos anos, o principal gestor acredita que o sistema de tratamento propiciou maior disseminação de informações e de idéias, propiciando um ambiente mais propício à inovações e novas práticas de gestão.

Observou-se que sistemas auto-organizados de solução de problemas podem contribuir para o desenvolvimento organizacional, por proporcionar um ambiente propício ao aprendizado e a inovação. Entretanto existe uma inter-relação entre o sistema organizacional empresarial e o próprio sistema auto-organizado de solução de problemas. Eles co-evoluem, tal que o estágio de desenvolvimento de um influencia o desenvolvimento do outro.

Empresas que pretendem implementar o sistema mas que procuram manter suas divisões funcionais fortemente hierarquizadas, e consequentemente centralizadoras, provavelmente não terão sucesso nem mesmo na aceitação do conceito do sistema. Isso se deve ao fato de tais ambientes serem muito políticos, tal que seus gestores estão mais preocupados com questões de poder do que com o efetivo desenvolvimento organizacional. Nesse ambiente o sistema auto-organizado de solução de problemas pode ser entendido como expositor de problemas e seus membros, por questão de conveniência pessoal, podem acreditar que a solução de um problema deve ser conduzida de forma centralizada por alguma área de suporte com especialistas “treinados” em técnicas e ferramentas.

Existe também o risco dos participantes julgarem, através de uma visão de curto prazo, que a liderança se tornou fraca por não estar determinando o que deve ser feito. Mas havendo uma posição resoluta dos principais gestores, com o entendimento do seu novo papel, tal imagem seria dirimida em pouco tempo.

Sistemas auto-organizados de solução de problemas parecem ser mais adequados à dinâmicas organizacionais mais complexas. O que os torna propícios para ambientes competitivos que exigem respostas mais rápidas e impactam continuamente diversos

aspectos da organização simultaneamente, tal que seus membros necessitam ser mais autônomos e ao mesmo tempo mais integrados sistemicamente.

Período 2: Proposta de melhorias com base na teoria de networks

Apesar do sistema ter possibilitado o envolvimento de diversas pessoas, em diferentes níveis e regiões geográficas, foi observado o fenômeno de ‘sobrecarregar’ algumas pessoas na participação do sistema.

Sob a ótica de *network* a dinâmica obedeceu o estrutura de rede chamada *scale free*, onde apesar de vários ‘nós’, existe uma concentração de links em determinados nós. Esta dinâmica é típica da internet e da web, assim, sob a ótica da teoria de *network* seria um fenômeno esperado – o que pode não ser nenhuma surpresa para a teoria organizacional, mas consolida um padrão esperado para relações dentro de ambientes virtuais.

A proposta para lidar melhor com essa situação é uma adaptação da sugestão de uma situação similar discutida por um dos teórico da teoria de *network* : Duncan J. Watts (Duncan, 2003, p. 278 e 279), o qual sugere estabelecer novos links específicos entre os elementos que sobrecarregam o sistema. Desta forma, conforme a figura 42 sugere-se identificar os *hubs* sob duas óticas, aqueles que mais registram abertura de anomalias e aqueles mais solicitados para solução de problemas. Procurar estabelecer uma correlação entre esses *hubs*, criando com eles e alguns outros colaboradores uma equipe específica com a finalidade de tratar diretamente dos problemas relacionados na forma de projeto, fora dos sistema.

Figura 42: Tratando *hubs* no sistema auto-organizado de solução de problemas

12. APLICAÇÃO TEÓRICA: ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSTAS

O objetivo desse capítulo é ilustrar como as Perspectivas da Complexidade podem ser relacionadas com a Engenharia de Produção.

12.1. Análise crítica de trabalhos existentes

Na abordagem tradicional, é de se esperar que a Engenharia de Produção busque aproximar-se mais das ciências da complexidade, com a finalidade de modelização de sistemas produtivos no estilo mais *hard*, explorando novas matemáticas ou realidades virtuais das novas tecnologias da informática, a fim de obter soluções voltadas para a otimização dos processos de transformação de produção. Serão realizadas análises críticas de trabalhos relacionados a três áreas de estudo da Engenharia de Produção: controle de qualidade; *supply chain*; e *network* de negócios.

Controle de Qualidade

Uma proposta que surgiu logo no início dos anos de 1990 reflete, nas palavras de seu autor, o espírito dos pesquisadores da época envolvidos com a Teoria do Caos: “Organizações são sistemas não-lineares e deveriam ser gerenciadas utilizando as ferramentas propiciadas pela teoria do caos” (Priesmeyer, 1992, p. xiii).

Priesmeyer se propõe a apresentar possibilidades de aplicação da teoria do caos em diversas áreas organizacionais: marketing, finanças, produção e até em recursos humanos. Seu objetivo principal está no tratamento de dados e interpretação de dados de forma que possam ser comparados com a evolução de equações logísticas que apresentam diferentes características de não-linearidade de acordo com a variação do parâmetro da equação, e ainda, utilizar atratores (uma equação típica, cuja evolução gráfica está apresentada no apêndice D).

No entendimento do autor é possível utilizar a referência do caos para sistemas organizacionais, por entender que, diferentemente das questões meteorológicas, as

organizações apresentam na maior parte do tempo um ‘nível baixo de caos’, chegando a afirmar: “A descoberta de Lorenz foi uma má notícia para a meteorologia, mas uma grande notícia para os negócios” (*ibidem*, p. 17). Apresenta um entusiasmo com a teoria que distorce a realidade organizacional, uma ânsia para controlar o que seria considerada apenas uma ‘aparente’ incerteza na dinâmica organizacional.

Uma proposta de aplicação na produção está relacionada ao processo físico de transformação, estabelecendo uma releitura de gráficos de controle de qualidade, utilizando-se de artifícios matemáticos para definição de atratores. Ao contrário do que o autor afirma não foi possível identificar um caráter prático de tal tentativa de aplicação e permanecem muitas dúvidas de que os pressupostos e artifício utilizados sejam sustentáveis.

O fato é que não se difundiu tal proposta, nem tampouco tal idéia, pois além de não ter um caráter prático que justificasse seu uso, tudo indica que a idéia não se sustenta nem mesmo pela ótica da dinâmica da teoria do caos.

Gestão de Supply chain (cadeia de suprimentos)

O uso de modelagem para simulação da dinâmica da cadeia de suprimentos remonta a Jay Forrester e seu modelo de ‘Dinâmica de Sistemas’ – que está associada à Teoria Geral de Sistemas:

“A dinâmica de sistemas (situada na mesma área de conhecimento que a teoria geral de sistemas, automação e cibernética) nasceu da aplicação – realizada nos anos de 1950 por Jay Forrester – da teoria dos sistemas dotado de estrutura de realimentação em um caso concreto de gestão industrial”. (Santoja, 1992, capa).

A Dinâmica de Sistemas de Forrester tem sido explorada até os dias atuais para entender como decisões em sistemas relativamente simples, envolvendo poucas

variáveis em um nível agregado de representação de participantes ao longo de uma cadeia de relações sequenciais locais, podem gerar efeitos de grande instabilidade ao longo da cadeia, afetando principalmente as camadas mais afastadas – o clássico ‘efeito chicote’ apresentado no famoso jogo da cadeia de fornecimento da cerveja (inicialmente não computadorizado).

Dentro da perspectiva das ciências da complexidade, com o surgimento das teorias da catástrofe e das estruturas dissipativas, que incorporam a matemática do caos, surge a iniciativa de utilizar os novos recursos matemáticos sem alterar as idéias básicas e a estrutura de concepção do modelo de Forrester. Como exemplo dessa iniciativa existe a proposta de Santoja (*ibidem*, cap. 8), mas ao que parece não ganhou grande repercussão e algum desenvolvimento aplicativo, pois as limitações do modelo original eram mantidas.

Propostas de uma mudança efetiva na concepção no modelo de Dinâmica de Sistemas surgem com o desenvolvimento de simulações computacionais com ‘modelos baseados em agentes’.

Para melhor entendimento das diferenças entre os modelos, o ponto de partida é o reconhecimento de quando não se pode aplicar adequadamente o modelo de Dinâmica de Sistemas de Forrester (baseado em North e Maçã, 2007):

- Quando o problema envolve um forte componente espacial ou geográfico na distribuição dos ‘agentes’⁷⁸.
- Quando envolve interação simultânea de agentes, principalmente se a dinâmica da *network* transforma ela mesma, como resultado das interações dos ‘agentes’.
- Quando existem restrições quanto às variáveis (como limites de capacidade produtiva, financeira, de estocagem etc.).

⁷⁸ Agente é a linguagem utilizada para caracterizar ‘indivíduo virtual’, que seria a representação do ‘ator social’, que, por sua vez, seria uma referência ao indivíduo real – linguagem desenvolvida nas ciências sociais.

As circunstâncias acima podem ser superadas, em princípio, pela modelagem baseada em agentes. Nela, o problema é modelado sob a perspectiva dos indivíduos (agentes) que compõem o sistema, ou seja, de suas decisões e regras individuais.

Assim, o padrão linear do tradicional modelo de ‘dinâmica de sistemas’ pode, ainda, ser superado por uma *network* de suprimento mais complexa, e mais próxima da realidade de cada *network* de negócio. Tal dinâmica pode se desenvolver com as seguintes características:

- I- O modelo passa de parâmetros gerais e regras comuns para o foco nas decisões e regras individuais;
- II- O modelo passa de relações limitadas sequenciais para uma ampliação de relações simultâneas com diferentes pontos da cadeia;
- III- O modelo passa de uma restrição de linha (visão de corrente) para uma *network* de negócios (visão de teia).

Tais condições (A, B e C) estão representadas na figura 43, a qual é baseada em North e Macal (2007, p. 64 – fig. 5.2, p. 68 – fig. 5.3, p. 69 – fig. 5.4, p.89 – fig. 5.17, p. 90 – fig. 5.18 e p. 91 – fig. 5.20).

Figura 43: Dinâmica de Sistema de Forrester versus Modelo Baseado em Agentes

A natureza complexa da dinâmica desses modelos baseados em agentes faz com que resultados só sejam conhecidos após as interações se realizarem ao longo do tempo. Como na frase atribuída a Antonio Machado: “... o caminho se faz ao caminhar”, não é possível reduzir a dinâmica desses sistemas a equações sem um risco de simplificação inadequada.

Network de negócios

Será discutida uma proposta recente que foi publicada em junho de 2007 no *Journal of Manufacturing Technology Management*, por Karlsson e Skold. O título do artigo: ‘*The Manufacturing extraprise: an emerging production paradigm*’, já expressa o impacto da questão do *network* na Engenharia de Produção.

Algumas das questões centrais apresentadas pelo artigo são:

1. Considera que o paradigma dominante que trata dos sistemas produtivos não engloba a visão de sistemas abertos.
2. Ressalta a importância de alterar a visão estratégica de manufatura: de uma perspectiva organizacional de produção para uma perspectiva de rede de manufatura, envolvendo ‘atores’ em sistemas globais de produção.
3. Propõe que a visão de rede do sistema de manufatura envolva o seguinte desdobramento: das funções do produto (visão de valor definido pelo mercado) na definição pela organização das tecnologias agregadas ao produto (tecnologias horizontais), para, então, definir as tecnologias de produção a serem realizadas internamente ou por terceiros (tecnologias verticais).
4. Propõe o conceito de “*extraprise*” para estabelecer a visão de *network* envolvendo as relações externas e internas na empresa – apesar de quase não explorar a questão das relações internas.
5. Trata a questão de *network* complexa como aquela que envolve grande número de ‘agentes’. Cita ‘teoria da complexidade’ como referência para afirmar que

existe uma incessante possibilidade de configurações de *networks* devido a mudanças provocadas pelos agentes.

6. Estabelece um modelo representacional de *network* consistindo de três blocos: atores, recursos e atividades. Os autores citam que tal modelo é baseado em uma proposta de 1987 de Hakansson.

Pode ser válida a argumentação dos autores no sentido de que, de uma maneira geral, há falta da perspectiva de *network* nos modelos de gestão de sistemas de manufatura. Porém essa perspectiva já vem, de alguma forma, sendo explorada por autores clássicos conhecidos. Um exemplo é uma publicação anterior de Hayes, Pisano e outros (Hayes *et al*, 2005, p. 24 – tabela 1-1), sobre estratégia de manufatura, onde, em uma tabela, ao compararem ‘velha economia’ com a ‘nova economia’, dos nove itens abordados, quatro citam diretamente *networks* e outros três citam relacionamentos, negociação e colaboração. A questão principal é ‘como’ essa perspectiva tem sido abordada.

Os autores apresentaram ter tido contato com idéias do que denominaram ‘teoria da complexidade’, mas não exploraram o tema nem apresentaram maiores referências no tratamento da questão. Ao apresentarem o termo ‘ator’ alternando com ‘agente’, percebe-se que apesar de seu discurso estar fundamentado predominantemente em teorias econômicas e sociais na abordagem de *networks*, os autores tiveram contato com conceitos de ‘modelos baseados em agentes’ – provavelmente por meio de textos de McKelvey citados na bibliografia do artigo.

O modelo de referência utilizado para descrever *network* apresenta um forte vínculo com modelos tradicionais de gestão de manufatura ao estabelecer ‘recursos’ como sendo um dos elementos de base. Até o autor citado no artigo como referência para o modelo, recentemente define *network* como sendo: “um número de nós relacionados uns com outros por ligações específicas [...] É o resultado de complexas interações dentro e entre empresas que se relacionam todo o tempo” (Hakansson *in* Ford *et al*, 2003, p. 19). Este autor passa a tratar os recursos subordinados ao conceito de relacionamento – sua nova proposta não é muito clara na definição de termos que

descrevem os relacionamentos, e até o papel dos ‘atores’ acaba ficando subordinado à questão dos relacionamentos, assim como também não mostrou conhecimentos relacionados ao estudo de *networks* ligado às ciências da complexidade.

Alguns pontos das ciências da complexidade que poderiam complementar a abordagem de *network*:

- Poderia haver representação em diferentes níveis de *network* – intra-organizacional e inter-organizacional.
- Poderiam ser discutidos a existência e o efeito de *hubs* nos diferentes níveis de *networks*.
- Como o papel dos *links* fracos pode afetar estrategicamente a dinâmica de *network*.
- Poderia ser discutida a superposição de *networks* de acordo com etapas do ciclo de vida do produto.
- Poderia ser discutida a dinâmica de formação e evolução de *networks*.

12.2. Propostas teóricas para aplicação do pensamento ‘mais’ complexo

A aplicação do pensamento ‘mais’ complexo na realidade organizacional normalmente se dá sobre uma base de conhecimento existente. Serão apresentadas duas propostas para aplicação do pensamento ‘mais’ complexo em gestão: Pensamento Estratégico e Design Organizacional.

Pensamento Estratégico

Como ilustração, a tabela 36 abaixo apresenta uma possibilidade interpretativa de como certos preceitos do pensamento complexo podem servir de referência para orientar o pensamento estratégico nas empresas. Trata-se de uma situação generalizada, apenas para efeito ilustrativo, que depende do conhecimento teórico e vivência organizacional de quem propõe (princípio da reintegração do observador à observação). Porém, sugere que a proposta de uso do pensamento complexo pode se apresentar como um recurso organizacional seletivo de muitas idéias independentes no campo da gestão.

Tabela 36: Ilustração do pensamento complexo aplicado à estratégia empresarial

Princípio/ idéia	Aplicação na Estratégia
1.Dialógico	Pode sugerir uma forma alternativa de pensar em dilemas estratégicos. O oponente pode ser um parceiro, e vice versa. Custo e diferenciação podem conviver, desde que haja uma concepção qualitativa da organização adequada (modelo de negócio). Também sugere que o conflito de idéias passa a ser saudável, pois se não considerarmos internamente perspectivas alternativas, estas poderão ser consideradas pelos oponentes, que podem surpreender a empresa. O sucesso empresarial de um empreendedor pode levar ao dilema de ter de prescindir do controle acionário para não correr um risco estratégico do negócio não sobreviver em um mercado em consolidação.

<p>2.Sistêmico (voltado para sistemas abertos)</p>	<p>A empresa pode ser vista como um sistema complexo dinâmico, que está inserida numa teia competitiva e cooperativa global de sistemas. Isto implica a necessidade de uma perspectiva global de competição. Como sistema, deve possuir uma organização (com estrutura e fluxos de informações relativamente estáveis) e ao mesmo tempo deve buscar incorporar dentro da própria estrutura mecanismos provocadores e facilitadores de mudanças. Estas atividades, desassociadas da manutenção da ordem, devem ser incorporadas ao próprio sistema organizacional.</p>
<p>3.Do ciclo retroativo (circularidade)</p>	<p>A empresa deve considerar o desdobramento das decisões/ações. Deve validar suas estratégias, quanto aos possíveis desdobramentos e reações dos participantes da arena competitiva sobre si mesma, monitorando as reações. Deve entender os ciclos de <i>feedback</i> tanto por trás da estabilidade quanto os envolvidos em crescimento/decrescimento rápido.</p>
<p>4.Do ciclo recursivo (auto-eco-produção e auto-eco-organização)</p>	<p>A própria organização possui capacidade de se mobilizar para criar ou regenerar de forma relativamente autônoma. Por isso, dentro da estrutura mais flexível e mais desenvolvida (complexamente falando) pode haver desafios que, independente de uma atuação dos gestores, são resolvidos pelo próprio grupo. Isso possibilita surgimento de verdadeiros ganhos estratégicos: "Quanto mais uma organização é complexa, mais tolera a desordem [convivendo com a ordem]" (Morin, 2001).</p>
<p>5.Da volta do observador na sua observação</p>	<p>A interpretação da realidade e a escolha do curso das ações não podem ser estabelecidas por terceiros, a compreensão e o empenho sobre as decisões só poderão ocorrer com a participação efetiva dos executivos e pessoas chaves. Cabe a eles a interpretação e o julgamento, que não devem depender de sistemas pré-formatados de processamentos de dados e de análises padronizadas, realizadas por terceiros. A experiência de terceiros deve funcionar como facilitador, estimulador e apresentador de novos conhecimentos, que só serão efetivos para a empresa quando integrados às ações de seus gestores.</p>

6. Da ecologia da ação (a ação escapa às nossas intenções)	Decisão estratégica com acerto garantido é uma ilusão, a tal ponto que nem os melhores sistemas de cálculo podem prever com precisão o resultado de uma proposta inovadora. Não há domínio completo da orientação estratégica deliberada pelos executivos; faz-se necessário um processo de reavaliação permanente. Deve haver o cuidado de considerar novos sinais, por menores que sejam, que podem gerar aprendizado e reorientação. Aliado ao princípio da circularidade, faz com que haja a necessidade de ciclos menores de reflexões estratégicas, antes de uma amplificação de desvios indesejados. Os executivos não devem pensar na estratégia como “plano”, mas como um processo a ser gerido permanentemente.
7. Da importância de contextualizar	É mais difícil de desenvolver alternativas estratégicas de sucesso, sem o conhecimento sobre estratégia. Poderia haver um fórum permanente para atualização de conhecimentos sobre estratégia. Da mesma forma, as experiências, os conhecimentos e modelos estratégicos devem ser contextualizados diante do seu tempo, seu objetivo e suas limitações. Ampliar as discussões através de uma perspectiva multifuncional, sobre as análises e a criação das alternativas melhora a capacidade de lidar com a complexa realidade.
8. Lidar com a incerteza	Na prática, a maioria das estratégias criativas emerge ao longo das interações, provocadas pelas próprias relações com o sistema, apesar da importância da perspectiva e do compromisso com o sucesso do negócio no longo prazo. Num ambiente turbulento o maior inimigo do sucesso é o próprio sucesso, o apego a concepções de negócio antigas, sob pretexto de explorar os pontos fortes existentes. Pode ser o começo do fim. Algumas empresas iniciantes têm revolucionado os mercados com concepções inovadoras de negócio. Tem-se de estar atento à dinâmica de toda rede de negócios e não apenas de relações de compra/venda de produtos. Re-configurações da rede de negócios podem transformar rapidamente uma posição estratégica confortável numa zona de risco.

Design Organizacional

Outra proposta de utilização do pensamento complexo na realidade organizacional é apresentada por Borgatti Neto *et al* (2003), no artigo: “Estrutura Tríplice: Proposta de modelo Organizacional com base no pensamento complexo”.

A *Estrutura Tríplice* tem como foco principal as pessoas e não a estrutura. Está estabelecida de forma tridimensional, através de uma pirâmide com base triangular (vide figura 44). Desta forma, diferentes perspectivas de atuação das pessoas podem ser consideradas concomitantemente, sem serem excludentes ou sobrepostas. A forma de cada pessoa atuar na organização passa de uma perspectiva única para uma perspectiva tríplice.

Figura 44: Estrutura Tríplice

A pirâmide, ao ser desmembrada numa forma plana (desconsiderando a base da pirâmide), estabelece três perspectivas possíveis de estruturas formais concomitante:

(1) **Estrutura de Base Permanente:** estrutura organizacional para atividades contínuas. Envolve formas tradicionais de departamentalização e definição de cargos. Demonstra o eixo de autoridade e responsabilidade necessárias para as atividades rotineiras, as quais propiciam os bens e serviços atuais. Normalmente engloba as atividades de natureza relativamente repetitiva e exige conhecimentos especializados. Esta é a estrutura utilizada como referência para contratação de novos funcionários. Nessa perspectiva predomina o foco na estabilidade. Trata-se da estrutura hierárquica com agrupamentos funcionais, tradicionalmente apresentados nos organogramas.

(2) **Estrutura Semipermanente:** estrutura organizacional para atividades intermitentes. Envolve a formação de equipes com atividades periódicas, mas com finalidades permanentes, cujas pessoas são oriundas da Estrutura de Base Permanente, com o objetivo de tratar tarefas distintas das atividades contínuas dos indivíduos (ou seja distintas das rotinas funcionais especializadas), podendo até estar relacionadas a estas. Exige uma forma sistematizada de atuação, com reuniões periódicas, porém, não necessita de uma infra-estrutura física permanente (podendo até possuir um caráter virtual). Pode ser constituída tanto por um grupo multifuncional (típica de níveis tático e estratégico) como por um grupo funcional (típico de níveis operacionais, quando tratam de atividades não contínuas). Engloba normalmente atividades *conjuntas* de planejamento e controle (propósito típico de: conselhos de administração; grupos de monitoramento estratégico ou de coordenação de programas de gestão; grupos de pessoas chaves para análise crítica de um sistema; grupos de ação comunitária e de círculos de controle de qualidade – CCQ);

(3) **Estrutura Temporária:** Estrutura organizacional para atividades temporárias. Envolve a formação de equipes temporárias (típicas de projeto e forças-tarefa). Da mesma forma que a estrutura anterior, as pessoas são oriundas da Estrutura Base Permanente. Nesta perspectiva predomina o foco nas soluções de problemas específicos e em mudanças específicas com prazos delimitados (projetos). Assim, esta estrutura é propícia para a troca e ampliação de conhecimentos necessários, para lidar com inovações e problemas mais complexos. Observando a atuação das pessoas em organizações de alto desempenho, percebe-se que estão presentes as

perspectivas propostas pela estrutura tríplice, mesmo quando não formalizadas por essa estrutura. Portanto, a representação tríplice procura reconhecer formalmente como as pessoas colaboram, ou podem colaborar, de forma mais ampla. Na Estrutura Tríplice uma mesma pessoa pode ter atuação tanto em atividades de naturezas diversas quanto em níveis distintos de decisão (estratégico, tático e operacional).

A tendência em simplificar e generalizar, normalmente, acaba por criar soluções que tentam sobrepor, eliminar ou omitir, ao invés de tratar conjuntamente as diferentes perspectivas, considerando suas inter-relações e suas diferenças individuais. Por isso, o entendimento e utilização da estrutura tríplice podem ser melhorados por meio do pensamento complexo, estabelecendo relações com alguns de seus princípios:

a) Idéia de Sistema [complexo]: todo sistema possui uma organização, tal que as idéias sistêmicas, opostas às reducionistas, entendem que o “todo é mais que a soma das partes”, por possuir novas qualidades emergentes em relação às partes isoladamente. Mas também “o todo é menor que a soma das partes” pois a necessidade de organização inibe certas potencialidades destas – o que implica em considerar alternativas organizacionais para liberar as potencialidades de seus componentes, sem deixar de ter organização. Assim, a estrutura tríplice surge como alternativa para liberar a potencialidade de seus participantes, considerando formas organizadas disso ocorrer;

b) A idéia de Dialógica: que permite assumir racionalmente a associação de idéias contraditórias para conceber um mesmo fenômeno complexo. Ou seja, questões antagônicas ou concorrentes podem ser complementares, tal que possam ser consideradas unidas sem descaracterizar suas individualidades. Assim a ordem e a desordem, que se apresentam como dois inimigos: uma suprime a outra, mas ao mesmo tempo colaboram e produzem organização e complexidade (baseado em Morin, 2001, p. 107). Desta forma, as diferentes formas organizadas das pessoas atuarem nas empresas podem ser consideradas de maneira associada, sem tentar integrá-las ou desconsiderar uma em detrimento de outra;

c) A idéia de Circularidade: envolve as idéias de regulação, auto-produção e auto-organização, tal que os produtos e efeitos das atividades na organização são produtores e causadores do que os produz. Assim, as regras organizacionais dentro de cada uma das perspectivas se alteram pelos resultados de cada uma destas mesmas perspectivas (por exemplo o resultado de um projeto da estrutura temporária pode alterar a estrutura departamental da base permanente);

d) A idéia de auto-eco-organização: os seres vivos têm necessidades de extrair energia, informação e organização do próprio ambiente, e a autonomia deles é inseparável do próprio ambiente. Assim a lógica do ambiente exigirá e caracterizará a própria dinâmica da organização, e para manter esta interação ativa numa empresa a participação de elementos externos é fundamental.

A proposta da estrutura tríplice pode não ser uma inovação quando considerada cada perspectiva individualmente, mas sua forma representacional e o entendimento dos princípios organizacionais que a inspiraram podem promover uma nova dinâmica de atuação das pessoas nas empresas, ainda mais quando adotadas formas de comunicação, liderança e participação de resultados que sejam coerentemente integradas à proposta da estrutura tríplice.

5ª PARTE – CONCLUSÃO

13. MUDANÇA DE PARADIGMA NA GESTÃO: CONSOLIDAÇÃO OU MODISMO?

A questão da mudança de paradigma está relacionada ao supra-paradigma decorrente do surgimento da ciência moderna e sua grande disseminação na realidade meso, na qual os responsáveis pelas práticas de gestão e performance dos sistemas produtivos estão envolvidos.

Em função do merecido sucesso do modelo científico newtoniano, a referência para o conhecimento válido passa a ser aquele obtido com o uso do método científico de investigação – que envolve verificação experimental e sistemas formais matemáticos de descrição do sistema, de acordo com os recursos tecnológicos existentes. Assim, de uma maneira geral, diante dos problemas de qualquer sistema do mundo, as soluções passam a ser consideradas válidas desde que tenham ‘legitimação científica’.

Com os abalos do mecanicismo, a visão do mundo como um relógio, ordenado, em equilíbrio, previsível matematicamente por meio de equações simples, com relações de causas e efeitos lineares, locais e sequenciais, que pode ser organizado pela soma de partes fragmentadas, não se torna suficiente para explicar a dinâmica de diversos fenômenos da realidade. As ciências se multiplicam, diferentes perspectivas são obrigadas a conviver, e em certo sentido concorrer, para lidar com a complexidade do real. O ‘sistema de mundo’ newtoniano, apesar de onipresente, deixa de ser onipotente. Aumenta a complexidade na ciência.

No próprio meio científico reconhece-se que “a ciência está longe de ser um instrumento perfeito de conhecimento. É apenas o melhor que temos”, afirma Sagan (1996, p. 41) – parafraseando Einstein. A complexidade na ciência amplia-se ainda mais com a diversificação de teorias na ciência mãe: a física, que passa a ter uma

física para realidade micro (quântica), outra para macro (relatividade), e ainda, a tradicional newtoniana, que funciona muito bem na realidade meso.

O papel da ciência continua a ser a modelização da realidade: “a simplificação do real à custa, porém, de uma ‘complexificação da razão’, ou seja, dos seus modelos e mesmo dos instrumentos” (Bachelard *in* Jorge, 2001, p. 91).

Inspirada nos organismos da natureza, formaliza-se uma abordagem de sistemas abertos para melhor enxergar a realidade; conseqüentemente todos os objetos de estudo passam a ser tratados como sistemas. O próprio processo de conhecimento é visto como sistema.

O empreendimento para a modelagem de sistemas percebe que o desafio de criar uma Teoria Geral de Sistemas passa a ser subjacente ao desafio de lidar com um comportamento não-linear da dinâmica evolutiva de diferentes sistemas, principalmente aqueles relacionados com a realidade cotidiana meso. A proposta de um paradigma sistêmico, com base na Teoria Geral de Sistemas, não se consolida.

Entretanto, fundamentos sistêmicos são estabelecidos e passam a influenciar os diversos ramos da ciência, a despeito do malogro da Teoria Geral de Sistemas – o qual pode se considerar como parcial. O supra-paradigma mecanicista passa a conviver com uma perspectiva sistêmica cada vez mais complexa.

O oceano de incertezas do conhecimento transborda na realidade meso. A complexidade de sistemas ganha notoriedade e uma nova terminologia envolvendo o caos determinístico e teorias correlatas tornam-se referência para construção de modelos para explicar a incerteza nos sistemas complexos. A computação se transforma não só em um instrumento poderoso mas torna-se cada vez mais um ambiente virtual para experimentação simulada.

Continua a saga científica na busca pela explicação da realidade, da ‘verdade’. Só que o caminho se amplia, não está mais delimitado a certos preceitos da ordem

mecanicista e por restrições metodológicas e instrumentais. A matemática não-linear, a geometria não-euclidiana e a evolução dos recursos computacionais proporcionam novos métodos de investigação, que co-evoluem entre si, com as explicações do mundo e a forma de pensar. As ciências da complexidade se desenvolvem em diferentes campos disciplinares e interdisciplinares: passa-se a discutir questões transdisciplinares.

Surgem novos conhecimentos científicos oriundos dos sistemas formais e da natureza. Estabelecê-los como referência para modelar a dinâmica de sistemas na realidade meso é algo esperado. O problema é que se reconhece cada vez mais que a realidade social, empresarial e dos sistemas produtivos possuem nuances cujas dinâmicas podem diferenciar-se de certos modelos matemáticos e da natureza.

As ciências da complexidade evoluem devido à evolução do computador, tanto que a modelagem da dinâmica de sistemas complexos tem como principal base a modelagem computacional baseada em agentes, com o foco passando de evolução biológica para a dinâmica de sistemas sociais. Também no ambiente virtual desenvolve-se a teoria dos grafos, transforma-se numa proposta relativamente recente de teoria de *network*. Se tudo é sistema e sistemas complexos são vistos como *networks* de seus componentes, tudo indica que as ciências da complexidade, no seu campo virtual de simulação de sistemas, devem caminhar para algo como uma ‘teoria de *network* de agentes’.

O reconhecimento da complexidade não está relacionado com o impossível de conhecer, mas com o reconhecimento de que o objeto a ser conhecido e o processo de conhecimento pelo sujeito conhecedor, e a relação entre eles, são bem mais complexos do que o paradigma mecanicista sugeria.

Por meio da abordagem da complexidade, o caminho no desenvolvimento do conhecimento sugere uma reaproximação entre ciência e filosofia. Estabelecer essa ‘ponte’ tem sido a proposta do pensamento complexo, que explora e amplia os fundamentos do pensamento sistêmico e busca religar o homem ao conhecimento, na

sua plenitude, e não como um organismo biológico apenas, mas integrado ao planeta, à sua história e ao próprio desenvolvimento do conhecimento científico.

A construção de modelos virtuais para estudo dos sistemas complexos pode provocar uma co-evolução acelerada em todas as áreas do saber, principalmente aquelas relacionadas com a realidade meso. Novos modelos organizacionais serão desenvolvidos, idéias antigas de teóricos organizacionais poderão ser impulsionadas pelo aprendizado de dinâmicas virtuais, assim como novas teorias irão surgir.

Pode-se observar que em linhas gerais o desdobramento das perspectivas da complexidade está relacionado a um processo evolutivo da Teoria geral de Sistemas. Desenvolver modelos para explicar e simular conseqüências de decisões que possam ser, em certo sentido, generalizáveis para todos os sistemas com dinâmica não-linear é o principal interesse das ciências da complexidade. Enquanto definir os princípios orientadores que possam ser comuns a todos os tipos de sistemas complexo, integrando o homem à realidade desses sistemas que ele estuda e convive, seria a maior preocupação do pensamento ‘mais’ complexo.

Porém, Morin, no intuito de estabelecer uma libertação da ‘complexidade’ das amarras do pensamento científico clássico, estabelece uma posição crítica principalmente às primeiras teorias ‘matematizadas’ que abordam complexidade: Teoria da Catástrofe; Fractais e, em especial, à Teoria do Caos. Principalmente, devido ao valor semântico atribuído por ele à palavra ‘Caos’ (na sua concepção grega), é visível a aversão à idéia de um caos determinista da Teoria do Caos como referência de saber para a complexidade de sistemas (baseado em Morin *et al*, 2003 e Morin *in* Gershenson *et al*, 2007, p. 8, 17 e 18).

Contudo, a ciência continua seu curso, por isso faz-se necessário um pensamento ‘mais’ complexo que permita integrar o homem, de forma ampla e permanente, no desenvolvimento do conhecimento. Entende-se que a obra de Morin tem que ser continuada e a aproximação com as ciências da complexidade se faz necessária. Até mesmo porque os caminhos das ciências da complexidade estão cada vez mais

entrelaçados com os caminhos das ciências sociais, que tratam do homem e sua dinâmica na realidade meso.

A mudança do supra-paradigma mecanicista ainda não se consolidou, mas, levando em conta o conteúdo do estudo deste trabalho, considera-se que o processo de transição passou do seu ponto de retorno, mesmo que haja uma certa demora para perceber de maneira dominante uma nova forma de pensar.

Os elementos básicos, da ciência e pensamento, que caracterizam o novo supra-paradigma vindouro estão apresentados na figura 45, e o ponto de referência estabelecido foi a proposta do paradigma sistêmico – nos moldes da Teoria Geral de Sistemas. Mesmo não se consolidando como paradigma alternativo, estabeleceu fundamentos para o desenvolvimento do novo paradigma.

Figura 45: Transição para o novo ‘supra-paradigma’

A figura acima busca representar os seguintes pontos na evolução da proposta do paradigma sistêmico:

- Os recursos tecnológicos utilizados para investigação se ampliam; do microscópico e telescópico para laboratórios virtuais; das soluções lineares com equações diferenciais e geometria euclidiana para matemática não-linear, fractais, dinâmica, agentes e grafos.
- Os fundamentos sistêmicos com base na biologia se aprofundam em pensamentos mais filosóficos envolvendo o homem na dinâmica de sistemas.
- Os modelos formais matemáticos e lineares são ampliados com a modelagem computacional da dinâmica de ‘agentes’ e grafos (representações da evolução de *networks*), com desenvolvimentos interdisciplinares de uma complexa simultaneidade de interações com emergência de padrões, estabelecidos por uma dinâmica não-linear que é até possível de ser visualizada.
- As explicações do mundo com referência a dinâmicas da natureza – na Teoria Geral de Sistemas a biologia em especial – passam a considerar uma pluralidade de dinâmicas – da matemática, da natureza, das humanidades e virtuais – buscando com mais veemência dinâmicas mais diretamente relacionáveis com as dinâmicas sociais (complexidade na ciência).
- O pensamento sistêmico, com fundamentos biológicos, é ampliado para considerar múltiplas representações dinâmicas e estabelecer relações com o homem em toda a sua pluralidade complexa (pensamento complexo).

Se o novo paradigma que está por vir será denominado de ‘paradigma da complexidade’, não se sabe. Até mesmo porque o termo complexidade remete a uma idéia que tende a ser mais associada à confusão do que a um entendimento profundo da realidade. Entretanto, é notório que o novo paradigma emergente tem sua dinâmica evolutiva envolvida – até de forma catalítica – com as perspectivas da complexidade: as Ciências da Complexidade e o Pensamento ‘mais’ Complexo.

14. CONCLUSÃO FINAL

A problemática principal do presente estudo foi estabelecida com a seguinte pergunta: Será que as perspectivas da complexidade indicam uma mudança de paradigma (na forma de Kuhn) na gestão de sistemas organizacionais produtivos, tal que o paradigma emergente já passou do “ponto sem retorno”?

Conforme visto, entende-se que a transição para um novo paradigma passou do seu ponto de retorno e as influências – seja pelas contribuições das ciências da complexidade ou pelo pensamento mais complexo – se farão cada vez mais presentes, de diferentes formas na Engenharia de Produção, em especial relacionada a princípios oriundos da perspectiva de *networks* baseada em agentes.

Foi estabelecido como objetivo do presente estudo: contribuir na organização e entendimento dos conceitos relacionados à complexidade e como eles podem ser úteis na revisão e construção de modelos de gestão.

Entende-se que este objetivo foi alcançado, tanto na organização dos conceitos relacionados à complexidade – capítulo 10 – quanto na forma como eles podem ser úteis na revisão e construção de modelos de gestão – capítulos 6, 7, 8, 11, 12 e 13.

As proposições estabelecidas foram:

4. Diante da efemeridade de modelos de gestão, já existe a busca de conceitos da complexidade para proposição de novos modelos e práticas de gestão, mesmo sem uma organização geral e uma orientação unificada (foco da 2ª Parte).

Entende-se que a conclusão do capítulo 8 – relacionado às pesquisas apresentadas nos capítulos 5, 6 e 7 – confirmou esta proposição orientadora do estudo

5. A maioria das construções conceituais e práticas elaboradas desde o início do século XX estão sob forte influência do pensamento científico clássico – incluindo os modelos de gestão. Novos conhecimentos científicos associados a novas formas de pensamento estão contribuindo para a construção de um novo paradigma, que incorpora melhores explicações das dinâmicas de sistemas com comportamento complexo, assim como novas formas de pensamento ‘mais’ complexo. Tais contribuições podem fornecer subsídios para a construção e desenvolvimento de novos modelos e práticas de gestão, mas não sem uma abordagem crítica (foco da 3ª Parte).

Entende-se que os conteúdos dos capítulos 9 e 10 confirmaram esta proposição.

6. As perspectivas da complexidade geram implicações na gestão de sistemas organizacionais produtivos, com questões particularizadas na Engenharia de Produção. Novas possibilidades para abordar e construir modelos de gestão de sistemas produtivos podem ser consideradas com base na complexidade (foco da 4ª Parte).

Entende-se que os capítulos 11 ao 13 confirmaram essa proposição.

15. SUGESTÕES E ORIENTAÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS

Serão apresentadas três idéias que poderiam ser utilizadas para explorar as perspectivas da complexidade que demandam estudos futuros: (1) desenvolver o conteúdo conceitual de ESTRANÉTIA: a estratégia de *network* nos sistemas de negócio; (2) discussão das idéias relacionadas ao ‘fluxo de valor’ – *lean production* – relativo à robustez do sistema produtivo; (3) introduzir disciplinas nos cursos de Engenharia de Produção relacionadas às perspectivas da complexidade e promover a formação de núcleos de estudo relacionados às perspectivas da complexidade aplicadas a sistemas organizacionais produtivos.

ESTRANÉTIA (Stranety): a estratégia de network nos sistemas de negócio

A sugestão está ligada à expansão das idéias relacionadas a *networks*, que são fundamentalmente baseadas nas teorias econômica, social e tradicionais de estratégia. Para tanto, poderia se utilizar dos conceitos relacionados à teoria de *network*, que tem se desenvolvido com estudos computacionais baseados na teoria dos grafos, e de resultados da aplicação de modelos baseados em agentes no estudo de dinâmicas evolutivas.

A sugestão da criação de um novo termo se deve à intenção de estabelecer uma perspectiva diferenciada da tradicional, procurando desenvolver um novo tipo de raciocínio (*estranético*) que se diferenciaria dos moldes tradicionais de estratégia, por estar mais voltado para o entendimento de dinâmicas complexas, com foco no processo evolutivo de redes, de efeitos de não-linearidades, com discussão de diferentes padrões emergentes, de auto-organização, *hubs*, links fracos, leis de potência etc.

Robustez do ‘fluxo de valor’ do sistema produtivo – sob a perspectiva de networks

A teoria de *network* coloca a seguinte questão quanto à robustez: “a verdadeira robustez não é somente uma questão de evitar falhas [na rede], mas também de

sobreviver com um mínimo de perda quando elas ocorrem” (Watts, 2003). Assim, ao se estabelecer fluxos exclusivos por família de produtos, como pode ser tratada a questão de robustez? Enxergar o conjunto de recursos como sendo potencialmente parte de uma mesma *network* pode ajudar, principalmente se houverem equipamentos compartilhados que sejam potencialmente *hubs*.

Pensar no sistema produtivo, envolvendo inclusive fornecedores externos, com uma visão de dinâmica de rede pode ajudar não apenas a estabelecer maior eficiência produtiva mas tratar a questão do risco, principalmente dentro de sistemas produtivos complexos. Assim, produtividade deve ser buscada não só em condições de ‘equilíbrio’, mas nas condições fora do equilíbrio – que no caso de sistemas produtivos normalmente não envolve um processo criativo no sentido de criação de inovação competitiva, como muitos autores pregam, generalizadamente.

Novas disciplinas nos cursos de Engenharia de Produção relacionadas às perspectivas da complexidade e formação de núcleos de estudo relacionados às perspectivas da complexidade aplicadas a sistemas organizacionais produtivos

A questão principal relacionada às perspectivas da complexidade está no entendimento de suas origens, sua relação com a Teoria Geral de Sistemas, sua diversidade de contribuições originárias de diferentes ciências (ciências da complexidade), que também possuem aspectos em comum, quais as implicações na forma de pensar e com o contexto histórico (pensamento ‘mais’ complexo), e ainda, como podem e não podem ser aplicadas à Engenharia de Produção e às pesquisas nessa área.

Para tratar dessas questões propõe-se uma disciplina introdutória do tipo: ‘Perspectivas da Complexidade: Ciências da Complexidade e Pensamento ‘mais’ Complexo’.

Também pode ser desenvolvida uma outra, fundamentada em três saberes fundamentais de Morin – enfrentar as incertezas, cegueiras do conhecimento e

conhecimento pertinente – aliada à análise de condições de incerteza provocada por dinâmicas de sistemas imprevisíveis, limitações de modelos e eventos interferentes. A disciplina poderia ser: Incertezas do conhecimento e dos modelos de planejamento.

Por fim, poderiam se desenvolver núcleos de estudos relacionados aos conteúdos da complexidade, que apesar de possuir um foco de aplicação disciplinar na Engenharia de Produção, poderiam ter participantes de outras áreas de conhecimento bem diferenciadas.

BIBLIOGRAFIA

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. 5^a ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ABBOTT, Andrew. **Time Matters: on theory and method**. Chigago: The University of Chigago, 2001.

ABRANTES, Paulo C. C. **Imagens da natureza, imagens da ciência**. Campinas: Papirus, 1998.

ACKOFF, Russell L. **Re-creating the Corporation: a design of organizations for the 21st century**. New York: Oxford University, 1999.

AGOSTINHO, Márcia Esteves. **Complexidade e organizações: em busca da gestão autônoma**. São Paulo: Atlas, 2003.

AKTOUF, Omar. **A administração entre tradição e a renovação**. São Paulo: Atlas, 1996.

ALMEIDA, M. C. de; CARVALHO, E. de A (Orgs.). **Edgar Morin, educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. São Paulo: Cortez, 2002.

ANDERSON, Chris. **A cauda longa: do Mercado de massa para o mercado de nicho**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

AMATO NETO, João. **Redes de cooperação produtiva e clusters regionais: oportunidades para as pequenas e médias empresas**. São Paulo: Atlas/Fundação Vanzoline, 2000.

AMATO NETO, João (org.). **Redes entre organizações: domínio do conhecimento e da eficácia operacional**. São Paulo: Atlas, 2005.

ANDERSON, Philip. **Complexity theory and organization science (Perspective)**. *Organizational Science*, v. 10, n. 3, 05-06/1999.

ANSELMO, Estevão. **Modelo de gestão não-linear: a teoria do caos e complexidade aplicada à gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis**. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo, 2005.

ARSAC, Jacques. **A ciência e o sentido da vida**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAK, Per. **How natures works: the science of self-organized criticality**. New York: Copernicus, 1996.

BARABÁSI, Albert-László. **Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life**. New York: Plume, 2003.

BARBOSA (a), Ruy M. **Descobrimos a geometria fractal – para a sala de aula**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1994.

BATEMAN, Thomas S.; SNELL, Scott A. **Administração: construindo vantagem competitiva**. São Paulo: Atlas, 1998.

BAUER, Ruben. **Gestão da Mudança: caos e complexidade nas organizações**. São Paulo: Atlas, 1999.

BEER, Stafford. **Cibernética na administração: visão totalmente original de como organizar e administrar desde uma pequena empresa até um país**. São Paulo: IBRASA, 1979.

BENNET, Alex; BENNET, David. **Organizational Survival in the New World: The Intelligent Complex Adaptive System**. Oxford: Elsevier, 2004.

BERGÉ, Pierre; POMEAU, Yves; DUBOIS-GANCE, Monique. **Dos ritmos ao caos**. São Paulo: USP, 1996.

BERLIN, Isaiah. **Estudos sobre a humanidade: uma antologia de ensaios**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral de sistemas**. 3ª ed. Petrópolis: Vozes, 1977.

BOAVENTURA, João Maurício G. (org.) **Rede de Negócios: Tópicos em estratégia**. São Paulo: Saint Paul, 2006.

BOLWIJN, P. T.; KUMPE, T. **Manufacturing in the 1990s – productivity, flexibility and innovation**. Long Range Planning. Vol. 23, nº 4, p. 44 a 57. UK, 1990.

BORGATTI Neto, Ricardo *et al.* **Estrutura Tríplice: Proposta de modelo Organizacional com base no pensamento complexo**. X Seminário Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica – México, D. F., 2003.

BORGATTI Neto, Ricardo; FLEURY, Afonso C. C. **A self-organized system for production solving: complexity approach**. 19th International Conference on Production Research. Valparaíso, Chile, 2007.

BRAGA, Marco; GUERRA, Andréia; REIS, José Cláudio. **Breve história do tempo. Vol 2.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.

BROWN, Courtney. **Chaos and catastrophe theory.** Thousand Oak: SAGE Publications, 1995.

BROWN, Shona L.; EISENHARDT, Kathleen M. **Estratégia competitiva no limiar do caos: uma visão dinâmica para as transformações corporativas.** São Paulo: Cultrix, 2004.

BUCHANAN, Mark. **Nexus: small worlds and the groundbreaking science of networks.** New York: W.W. Norton & Company, 2002.

BUNGE, Mario. **Dicionário de Filosofia.** São Paulo: Perspectiva, 2006.

BUTTERFIELD, Herbert. **As origens da ciência moderna.** Lisboa: Edições 70, 2003.

BYRNE, David. **Complexity theory and social sciences: an introduction.** New York: Routledge, 1998.

CALDARELLI, Guido; VESPIGNANI, Alessandro. **Large scale structure and dynamics of complex networks: from information technology to finance and natural science.** Singapore: World Scientific, 2007.

CAMAZINE, Scott. *et al.* **Self-organization in biological system.** New Jersey: Princeton, 2001.

ÇAMBEL, Ali B. **Applied chaos theory: a paradigm for complexity.** London: Academic Press, 1993.

CAMPOS, Dinah Matins de S. **Psicologia e desenvolvimento humano.** Rio de Janeiro: Vozes, 1997.

CAPRA, Fritjof. **O ponto de mutação.** São Paulo: Cultrix, 1995.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.** São Paulo: Cultrix, 1996.

CARAVANTES, Geraldo R.; PANNO, Cláudia C.; KLOECKNER, Mônica C. **Administração : teorias e processos.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CARVALHO, Edgar de A.; MENDONÇA, Terezinha. **Ensaio de Complexidade 2.** Porto Alegre: Sulina, 2003.

CASTI, John L. **Complexification: explaining a paradoxical world through the science of surprise.** New York: Haper Perennial, 1994.

CASTI, John L. **Mundos virtuais: como a computação está mudando as fronteiras da ciência**. Rio de Janeiro: Revan, 1998.

CASTRO, Gustavo de, *et al* (Org.). **Ensaio de complexidade**. Porto Alegre: Sulina, 1997.

CERTO, Samuel C. **Administração Moderna**. 9^a ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHANLAT, Jean-François. **Ciências sociais e o management: reconciliando o econômico e o social**. São Paulo: Atlas, 1999.

CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert, NICHOLAS J. Aquilano. **Administração da Produção para a Vantagem Competitiva**. 10^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHAVES, Alair S. **Física: sistemas complexos e outras fronteiras**. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.

CHECKLAND, Peter. **System Thinking, System Practice: includes 30-years retrospective**. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2002.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução a teoria geral da administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CHURCHMAN, C. West. **Introdução à teoria de sistemas**. 2^a ed. Petrópolis: Vozes, 1972.

CONTENÇAS, Paula. **A eficácia da metáfora na produção da ciência: o caso da genética**. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.

COHEN, Jack; STEWART, Ian. **The collapse of chaos: discovering simplicity in a complex world**. New York: Penguin books, 1994.

COVENEY, Peter; HIGHFIELD, Roger. **A Flecha do tempo**. São Paulo: Siciliano, 1993.

COVENEY, Peter; HIGHFIELD, Roger. **Frontiers of complexity: the search for order in a chaotic world**. London: Faber and Faber, 1995.

COWAN, George; PINES, David; MELTZER, David (org). **Complexity: Metaphors, Models, and Reality**. 2^a ed. USA: Westview, 1999.

CUSUMANO, Michael A; MARKIDES, Constantinos C. **Pensamento Estratégico**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

DAFT, Richard L. **Administração**. São Paulo: Thomson, 2005.

DAVIS, Martin. **O computador Universal**. Portugal: Bizâncio, 2004.

DEBRUN, Michael *et al* (Org.). **Auto-organização: estudos interdisciplinares**. Campinas: Unicamp, 1996.

DEUTSCH, David. **A essência da realidade**. São Paulo: Makron Books, 2000.

DOMINGUES, Ivan. **Conhecimento e transdisciplinaridade II: aspectos metodológicos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

DOROGOVTSSEV, S. N.; MENDES, J.F.F. **Evolution of Networks: from biological nets to the internet and www**. New York: Oxford, 2003.

DUPAS, Gilberto. **O mito do progresso**. São Paulo: Unesp, 2006.

DUPUY, Jean-Pierre. **Nas origens das ciências cognitivas**. São Paulo: UNESP, 1996.

EIJNATTEN, Frans M. van. **The paradigm that changed the workplace, social science for action: toward organizational renewal**. Volume 4. Sweden: Van Gorcum & Comp B.V, 1993.

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

ENCICLOPÉDIA EINAUDI VOL.26. **Sistema**. Portugal: Imprensa Nacional – Casa da Moeda, 1993.

EPSTEIN, Joshua M. **Generative social science: studies in agent-based computational modeling**. New Jersey: Princenton University Press, 2006.

ÉRDI, Péter. **Complexity explained**. USA: Springer, 2008.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2ª edição. São Paulo: Nova Fronteira, 1998.

FLAKE, Gary W. **The computational beauty of nature: computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaptation**. Cambridge: Bradford Book, 1998.

FLEURY, Afonso Carlos Corrêa. **Contribuição ao estudo da empresa como sistema**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1974.

FLEURY, Afonso C. C.; FLEURY, Maria T. L. **Aprendizagem e inovação organizacional: as experiências de Japão, Coréia e Brasil**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1997.

FLICK, Uwe. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FLOOD, Robert L.; CARSON, Ewart R. **Dealing with complexity: an introduction to the theory and application of systems science**. 2^a ed. New York: Plenum Press, 1993.

FLOOD, Robert L. **Rethinking the fifth discipline**. 4^a ed. London: Routledge, 2003.

FONSECA, José. **Complexity and Innovation in Organizations**. New York: Routledge, 2002.

FORD, David *et al.* **Managing Business Relationships**. 2nd ed. London: Wiley, 2004.

FOUREZ, Gerárd. **A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995.

FRENKEN, Koen. **Innovation, Evolution and Complexity Theory**. Cheltenham: Edward Elgar, 2006.

FUCHS, Christian. **Internet and Society: Social Theory in information age**. New York: Routledge, 2008.

FUNDAÇÃO GULBENKIAN. **Para abrir as ciências sociais: Relatório da comissão Gulbenkian sobre a reestruturação das ciências sociais**. Lisboa: Europa-América, 1996.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2001.

GASSET, José O. **Em torno de Galileu**. Petrópolis: Vozes, 1989.

GELL-MAN, Murray. **O quark e o jaguar: as aventuras no simples e no complexo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

GERSHENSON, Carlos; AERTS, Diederik; EDMONDS, Bruce. **Worldviews, Science and us: Philosophy and Complexity**. London: World Scientific, 2007.

GHARAJEDAGHI, Jamshid. **Systems Thinking: managing chaos and complexity: a platform for designing business architecture**. USA: Butterworth-Heinemann, 2006.

GIOVANNINI, Fabrizio; KRUGLIANSKAS, Isak. **Organização eficaz**. São Paulo: Nobel, 2004.

GLADWELL, Malcon. **O ponto do desequilíbrio**. Rio de Janeiro, Rocco, 2002.

GLEICK, James. **Caos: A Criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

GLEISER, Ilan. **Caos e complexidade: a evolução do pensamento econômico**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

GONÇALVES, Raquel. **Ciência, Pós-ciência, Metaciência**. Lisboa: Discórdia, 1999.

GONDOLO, Graciela C. F. **Desafios de um sistema complexo à gestão ambiental**. São Paulo: Annablume/Fapesp, 2000.

GONZÁLEZ REY, Fernando. **Pesquisa qualitativa e subjetividade: os processos de construção da informação**. São Paulo: Thomson, 2005.

GORDON, Deborah M. **Formigas em ação: como se organiza uma sociedade de insetos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

GOTTSCHALL, Carlos Antonio M. **Do mito ao pensamento científico: a busca da realidade de Tales a Einstein**. 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2004.

GREENE, Brian. **O universo elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva**. São Paulo: Companhia das letras, 2001.

GREENE, Brian. **O tecido do cosmo: o espaço, o tempo e a textura da realidade**. São Paulo: Companhia das letras, 2005

GRIBBIN, John. **Fique por dentro da física**. São Paulo: Cosac & Naify, 2001.

GRIBBIN, John. **História da ciência: de 1453 ao presente**. Portugal: Publicações Europa-América, 2005.

GRIFFIN, Douglas. **The emergence of leadership: linking self- organization and ethics**. New York: Routledge, 2002.

GUEDES, Francisco Corrêa. **Economia e complexidade**. Coimbra: Almedina, 1999.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica**. In *Proceedings CINFORM - Encontro Nacional de Ciência da Informação VI*. Bahia, 2005

GUERRA, Andréia *et al.* **Galileu e o nascimento da ciência moderna**. 4ª ed. São Paulo: Atual, 1997.

HAINES, Stephen G. **The manager's pocket guide to: systems thinking & learning**. Canada: HRDpress, 1998.

HALL, Nina. **Exploring chaos: a guide to the new science of disorder**. New York: W.W. Norton & Company, 1993.

HAMEL, Gary; BREEN, Bill. **O futuro da administração**. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

HANDY, Charles. **A era da irracionalidade: ou a gestão do futuro**. Portugal: Edições CETOP, 1992.

HANDY, Charles. **A era do paradoxo**. São Paulo: Makron Books, 1995.

HANDY, Charles. **Além do capitalismo**. São Paulo: Makron Books, 1999.

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz**. São Paulo: Arx, 2001.

HAWKING, Stephen; MLODINOW, Leonard. **Uma nova história do tempo**. São Paulo: Ediouro, 2005.

HAYES, Robert et al. **Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the Competitive Edge**. New Jersey: Wiley, 2005.

HAZEN, Robert M.; TREFIL, James. **Saber ciência**. 5ª ed. São Paulo: Cultura Editores Associados, 1999.

HENRY, John. **A revolução científica e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

HODGES, Andrew. **Turing: um filósofo da natureza**. São Paulo: UNESP, 2001.

HORGAN, John. **O fim da ciência: uma discussão sobre os limites do conhecimento científico**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

JACKSON, Michael C. **Systems thinking: creative holism for managers**. England: John Wiley & Sons Ltd, 2005.

JANTSCH, Erich. **The self-organizing universe**. New York: Pergamon, 1992.

JAPIASSU, Hilton. **A revolução científica moderna**. São Paulo: Letras & Letras, 1997.

JAPIASSU, Hilton. **Desistir do pensar? Nem pensar**. São Paulo: Letras & Letras, 2001a.

JAPIASSU, Hilton. **Nem tudo é relativo: a questão da verdade**. São Paulo: Letras & Letras, 2001b.

JAPIASSU, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário Básico de Filosofia**. 4^a ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

JERPHAGNON, Lucien. **História das grandes filosofias**. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

JORGE, Maria M. A. **As ciências e nós**. Lisboa: Instituto Piaget, 2001.

JOURNAL OF MANUFACTURING TECHNOLOGY MANAGEMENT. **The future of manufacturing**. V. 18, n. 8. UK: Emerald, 2007.

KAPLAN, Daniel; GLASS, Leon. **Understanding nonlinear dynamics**. New York: Springer-Verlag, 1995.

KAST, Fremonte E.; ROSENZWEIG, James E. **Organização e administração: um enfoque sistêmico**. Vol. 1. 4^a ed. São Paulo: Pioneira, 1992.

KELLY, Suzanne; ALLISON, Mary Ann. **The complexity advantage: how the science can help your business achieve peak-performance**. New York: McGraw-Hill, 1998.

KELSO, J. A. Scott. **Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior**. Cambridge: A Bradford Book, 1995.

KLEIN, Etienne; LACHIEZE-REY, Marc. **A aventura da física: a demanda da unidade**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1997.

KUPFER, David; HASENCLEVER, Lia (org.). **Economia Industrial**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

LANDES, David S. **Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental, de 1750 até os dias de hoje**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LAVILLE, Christian; DIONNE Jean. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

LÉVY-LEBLON, Jean-Marc. **O pensar e a prática da ciência: antinomias da razão**. Bauru, SP: EDUSC, 2004.

LEWIN, Roger. **Complexidade: A Vida no limite do caos**. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LEWIN, Roger. **Evolução humana**. São Paulo: Atheneu Editora, 1999.

LIMA, Paulo G. **Tendências paradigmáticas na pesquisa educacional**. Dissertação (Mestrado em educação). UNICAMP, São Paulo: 2001.

LOVELOCK, James. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006.

MALIN, Shimon. **A natureza ama esconder-se: a física quântica e a natureza da realidade, uma perspectiva ocidental**. São Paulo: Horus, 2003.

MARTINS, Francisco M.; SILVA, Juremir M. (Org.). **Para navegar no século XXI**. 2ª edição. Porto Alegre: Sulina, 2000.

MATURANA, Humberto. **A ontologia da realidade**. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athenas, 2001.

MAXIMIANO, Antonio C. A. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à revolução digital**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MAYOR, Frederico; FORTI, Augusto. **Ciência e poder**. Campinas: Papirus, 1998.

MAYR, Ernest. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das letras, 2005.

McELROY, Mark W. **The new knowledge management: complexity, learning and sustainable innovation**. USA: Butterworth-Heinemann, 2003.

McMASTER, Michael D. **The intelligence advantage: organizing for complexity**. USA: Butterworth-Heinemann, 1996.

McMILLAN, Elizabeth. **Complexity, Organizations and Change**. New York: Routledge, 2004.

MENDES, Candido (Org.). **Representação e complexidade**. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.

MENEZES, Luiz Carlos de. **A matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

MÉSZÁROS, István. **O poder da ideologia**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2004.

MEYER, Alan D.; GABA, Viba; COLWELL Kenneth A. **Organizing far from equilibrium: nonlinear change in organizational fields**. *Organization Science*. v. 16, n. 5, p. 456–473, 09-10/2005.

MINATI, Gianfranco; PESSA, Eliano. **Emergence in complex, cognitive, social, and biological systems**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 2002.

MINTZBERG, Henry; *et al.* **Safári de Estratégia**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MOLES, Abraham A. **As ciências do impreciso**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1995.

MONTEIRO, Luiz H. A. **Sistemas Dinâmicos**. São Paulo: Livraria da Física, 2002.

MORÇOL, Goktug. **A new mind for policy analysis: toward a post-Newtonian and postpositivist epistemology and methodology**. USA: Praeger, 2002.

MOREIRA, Marco A.; MASINI, Elcie F. S. **Aprendizagem significativa, a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco A.; BUCHWEITZ, Bernardo. **Mapas conceituais**. São Paulo: Editora Moraes, 1987.

MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREL, Bernoit; RAMANUJAM, Ragaraj. **Through the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving systems**. *Organizational Science* v. 10, n. 3, p. 278–295, 05-06/1999.

MORGAN, Gareth. **Imagens da organização: edição executiva**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MORIN, Edgar. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996a.

MORIN, Edgar (coord). **O problema epistemológico da complexidade**. Portugal: Europa-América, 1996b.

MORIN, Edgar. **O Método I: a natureza da natureza**. 3ª edição. Portugal: Europa-América, 1997.

MORIN, Edgar; LE MOIGNE, Jean-Louis. **A inteligência da complexidade**. São Paulo: Peirópolis, 2000.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO, 2000a.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000b.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. 3ª edição. Lisboa: Instituto Piaget, 2001.

MORIN, Edgar (Org.). **A religação dos saberes: o desafio do século XXI**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001a.

MORIN, Edgar. **Saberes globais e saberes locais: o olhar transdisciplinar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2001b.

MORIN, Edgar. **O Método 5: a humanidade da humanidade**. Porto Alegre: Sulina, 2002.

MORIN, Edgar. **Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. São Paulo: Cortez, 2002a.

MORIN, Edgar *et al.* **Educar na era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem no erro e na incerteza humana**. São Paulo: Cortez, 2003.

MORIN, Edgar. **O método 6: ética**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

MOTTA, Fernando C. P. **Teoria das Organizações: evolução e crítica**. São Paulo: Pioneira, 1986.

NAGEL, Ernest; NEWMAN James R. **A prova de Godel**. 2^a ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

NICOLIS, Grégoire; PRIGOGINE, Ilya. **Exploring complexity**. New York: W. H. Freeman and Company, 1989.

NICOLESCU, Basarab. **O manifesto da transdisciplinaridade**. São Paulo: Triom, 1999.

NICOLESCU, Basarab; BADESCU, Horia. **Stephane Lupasco: o homem e a obra**. São Paulo: Triom, 2001.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirokata. **Criação de conhecimento na empresa**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

NORTH, Michael; MACAL Charles. **Managing Business Complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulating**. New York: Oxford, 2007.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica**. São Paulo: Pioneira, 1997.

OLSON, Edwin E.; EOYANG, Glenda H. **Facilitating Organization Change: lesson from complexity science**. San Francisco: Jossey- Bass/Pfeiffer, 2001.

ORSUCCI, Franco F. **Changing Mind: Transitions in Natural and Artificial Environments**. Singapore: World Scientific, 2002.

OSBORNE, Richard. **Freud para principiantes**. Rio de Janeiro: Objetiva, 1993.

PAGELS, Heinz R. **Os sonhos da razão: o computador e a emergência das ciências da complexidade**. Lisboa: Gradiva, 1990.

PAIVA, Wagner P. De. **Teoria do caos e as organizações**. Caderno de Pesquisas em Administração, FEA/USP, p. 85/95, segundo trimestre de 2001.

PAIVA, Ely Laureano; CARVALHO Jr, José M.; FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. **Estratégia de produção e operações**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PARKER, David; STACEY Ralph. **Caos, administração e economia: as implicações do pensamento não-linear**. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 1995.

PASCALE, Richard T. **Administrando no limite: como as empresas mais brilhantes usam o conflito para permanecer no topo**. Rio de Janeiro: Record, 1994.

PASCALE, Richard T.; MILLEMANN, Mark; GIOJA, Linda. **Surfing the edge of caos: the laws of nature and the new laws of business**. 1st ed. New York: Three Rivers Press, 2000.

PELT, Jean-Marie. **A natureza reencontrada**. Lisboa: Gradiva, 1990.

PENA-VEGA, Alfredo; NASCIMENTO, Elimar Pinheiro (Orgs.). **O pensar complexo: Edgar Morin e a crise da modernidade**. Rio de Janeiro: Garamond, 1999.

PENA-VEGA, Alfredo; ALMEIDA, Cleide R. S. de; PETRAGLIA, Izabel. **Edgar Morin: ética, cultura e educação**. São Paulo: Cortez, 2001.

PEREIRA, Otaviano. **O que é teoria**. 8^a edição. São Paulo: Brasiliense, 1992.

PESSIS-PASTERNAK, Guitta. **Do caos à inteligência artificial: quando os cientistas se interrogam**. São Paulo: UNESP, 1993.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PLANTULLO, Vicente L. **Teoria geral da administração: de Taylor às redes neurais**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2002.

POZO, Juan I. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. 3^a ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PRIESMEYER, Henry Richard. **Organizations and chaos: defining the methods of nonlinear management**. New York: Quorum, 1992.

PRIGOGINE, Ilya. **O Fim das certezas**. São Paulo: UNESP, 1996.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS Isabelle. **A nova aliança: metamorfose da ciência**. 3^a edição. Brasília: UNB, 1997.

PRIGOGINE, Ilya; KONDEPUDI, Dilip. **Termodinâmica: dos motores térmicos às estruturas dissipativas**. Lisboa: Piaget, 1999.

QUADROS, Sérgio. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. São Paulo: Scipione, 1996.

RAGSDELL, Gillian ; WEST, Daune ; WILBY, Jenifer (org.). **Systems Theory and Practice in the knowledge Age**. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.

REID, R. Dan; SANDERS, Nada R. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

RICHARDSON, Kurt A. et al. **Emergence: Complexity & Organization, 2005 anual**. Volume 6. Florida: ISCE Publishing, 2006.

RITTO, Antonio Carlos. **Organizações Caórdicas- Modelagem de Organizações Inovadoras**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2005.

ROBBINS, Stephen Paul. **Administração: mudanças e perspectivas**. São Paulo: Saraiva, 2000.

ROCHA, José Fernando M. (Org.). **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROSA, Luiz P. **Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões - Vol. 1**. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

ROSA, Luiz P. **Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões - Vol. 2**. São Paulo: Paz e Terra, 2006.

ROSSI, Paolo. **A ciência e a filosofia dos modernos: aspectos da Revolução Científica**. São Paulo: UNESP, 1992.

RUELLE, David. **Acaso e caos**. 2^a ed. São Paulo: UNESP, 1993.

RUSSEL, Bertrand. **A história do pensamento ocidental: a aventura dos pré-socráticos a Wittgenstein**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

RUSSEL, Stuart J.; NOVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SAMETBAND, Moisés José. **Entre el orden y el caos: La complejidad**. México: SEP, 1999.

SANDERS, T. Irene. **Strategic thinking and the new science: planning in the midst of chaos, complexity, and the change**. New York: The Free Press, 1998.

SANTOJA, Javier Aracil. **Introducción a la dinámica de sistemas**. Salamanca: Alianza, 1992.

SANTOS, Boaventura de Souza. **Um discurso sobre as ciências**. 14^a ed. Porto: Edições Afrontamento, 2003.

SANTOS, Boaventura de Souza (org.). **Conhecimento prudente para uma vida decente: um discurso sobre as ciências revisitado**. São Paulo: Cortez, 2004.

SANTOS, João Almeida; PARRA FILHO, Domingos. **Metodologia Científica**. São Paulo: Futura, 1998.

SAWYER, R. Keith. **Social Emergence: Societies as Complex Systems**. New York: Cambridge University Press, 2005.

SCOTT, Alwyn C. **The Nonlinear Universe: Chaos, Emergence, Life**. New York: Springer, 2007.

SHAW, Patrícia. **Changing Conversations in Organization: a complexity approach to change**. London: Routledge, 2002.

SHIMON, Malin. **A natureza ama esconder-se**. São Paulo: Horus Editora, 2003.

SIMAAN, Arkan; FONTAINE, Joelle. **A imagem do mundo: dos babilônios a Newton**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

SIMON, Herbert A. **The sciences of artificial**. 3^a ed. Massachusetts: MIT Press, 2001.

SINHA, Kingsshuk K.; VAN de VEN, Andrew H. **Design work within and between Organizations**. *Organization Science*. v. 16, n. 4, p. 389–408, 07-08/2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSON, Robert. **Administração da produção**. 2^a ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SNOW, Charles P. **As duas culturas e uma segunda leitura: uma versão ampliada das duas culturas e a revolução científica**. São Paulo: USP, 1995.

SOARES, Luiz C. (org.). **Da revolução científica à big (business) science**. São Paulo: Hucitec- EDUFF, 2001.

SOKAL, Alan; BRICMONT, Jean. **Imposturas intelectuais**. Rio de Janeiro: Record, 1999.

SPIRE, Arnoud. **O pensamento de Prigogine**. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.

STACEY, Ralph. D. **A Fronteira do Caos**. Lisboa: Bertrand Editora, 1991.

STACEY, Ralph. **A Gestão do Caos**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992.

STACEY, Ralph D. **Managing the unknowable: strategic boundaries between order and chaos in organizations**. 1st ed. New York: Jossey-Bass, 1992a.

STACEY, Ralph D. **Strategic Management and Organisational Dynamics: the challenge or complexity**. London: Prentice Hall, 1993.

STACEY, Ralph. **A gestão do caos**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1994.

STACEY, Ralph. **A fronteira do caos**. Portugal: Bertrand, 1995.

STACEY, Ralph. **The science of Complexity: an alternative perspective for strategic change processes**. *Strategic Management*. v. 16, n. 6, p. 477–485, 09/1995a.

STACEY, Ralph D. **Complexity and Creativity in Organizations**. 1st ed. San Francisco: Berrett- Koehler Publishers, 1996.

STACEY, Ralph. **Pensamento estratégico e gestão da mudança**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1998.

STACEY, Ralph D.; GRIFFIN, Douglas; SHAW, Patricia. **Complexity and Management: fad or radical challenge to system thinking?** New York: Routledge, 2000.

STACEY, Ralph D. **Complex Responsive Processes in Organizations: learning and knowledge creation**. New York: Routledge, 2001.

STACEY, Ralph D. **Complex responsive processes in organizations: learning and knowledge creation**. 2^a edição. London: Routledge, 2002.

STACEY, Ralph D.; GRIFFIM, Douglas; SHAW, Patricia. **Complexity and management: fad or radical challenge to systems thinking?**. 2^a edição. New York: Routledge, 2002a.

STACEY, Ralph D. **Complexity and group processes: a radically social understanding of individuals**. New York: Brunner-Routledge, 2003.

STEFFOFF, Rebecca. **Charles Darwin: a revolução da evolução**. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

STEWART, Ian. **Será que Deus Joga Dados?: A nova matemática do caos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1991.

STREATFIELD, Philip J. **The Paradox of Control in Organizations**. London: Routledge, 2001.

STROGATZ, Steven. **Sync: how order emerge from chaos in the universe, nature, and day life**. New York: Theia, 2003.

TALEB, Nassim Nicholas. **The Black Swan: The impact of the highly improbable**. New York: Random House, 2007.

TARNAS, Richard. **A epopéia do pensamento ocidental: para compreender as idéias que moldaram nossa visão de mundo**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

TAYLOR, Mark C. **The moment of complexity: emerging network culture**. Chicago: The University of Chicago, 2003.

THUILLIER, Pierre. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

TOFLER, Alvin; TOFLER, Heidi. **A riqueza revolucionária**. 8^a ed. São Paulo: Futura, 2007.

TORRES, Luz A. G. **A organização do trabalho em grupos sob a perspectiva da complexidade – estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

VASCONCELLOS, Maria J. S. de. **Pensamento Sistêmico: o novo paradigma da ciência**. Campinas: Papirus, 2002.

VEGA-REDONDO, Fernando. **Complex Social Networks**. Cambridge: Cambridge University, 2007.

WALDROP, M. Mitchell. **Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos**. New York: Touchstone, 1992.

WATTS, Duncan J. **Small Worlds: the dynamics of network between order e randomness.** New Jersey: Princeton, 1999.

WATTS, Duncan J. **Six degrees: the science of a connected age.** New York: Norton, 2003.

WHITEHEAD, Alfred N. **A ciência e o mundo moderno.** São Paulo: Paulus, 2006.

WILLIAMS, Garnett P. **Chaos theory tamed.** Washington: Joseph Henry Press, 2006.

WOOD Jr., Thomaz (Coord.). **Mudança organizacional: aprofundando temas atuais em administração de empresas.** 2^a ed. São Paulo: Atlas, 2000.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZEILINGER, Anton. **A face oculta da natureza: o novo mundo da física quântica.** São Paulo: Globo, 2005.

ZILBOVICIUS, Mauro. **Modelos para a produção, produção de modelos: gênese, lógica e difusão do modelo japonês de organização da produção.** São Paulo: FAPESP–Annablume, 1999.

APÊNDICES

Apêndice A

ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS ARTIGOS

Análise de conteúdo do artigo 1 - *Complexity theory and organization science (perspective)*

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	“Sistemas complexos”, e conseqüentemente, “organizações complexas”, foram descritos como um todo interdependente com seu ambiente, compostos de muitas partes e interações. Sugere que sua origem está relacionada com aspectos quantitativos. Cita que sistemas complexos são difíceis de prever por apresentarem comportamentos não-lineares.
2- Referência a uma "teoria da complexidade"	Distingue teoria da complexidade da teoria do caos e da ciência normal. Questiona quanto a existência de uma teoria unificada da complexidade. Implicitamente delimita a teoria da complexidade a sistemas adaptativos complexos (SAC). Cita “ciência da complexidade” não fazendo distinção entre essa e “teoria da complexidade”, ou seja, ambos os termos são utilizados de forma equivalente.
3- Evolução da complexidade	<p>Afirma que a “complexidade” está presente no discurso dos cientistas organizacionais desde os anos de 1960, quando se disseminou a visão de organizações como sistemas abertos. Considera que novas abordagens para modelagem de sistemas complexos surgem a partir de 1980 devido ao <i>Santa Fe Institute</i>, mas considera cedo para declarar a complexidade como um novo ‘paradigma’.</p> <p>Considera a visão de Herbert Simon para evolução da abordagem de sistemas em três ondas [texto localizado em Simon, 2001, p.169]: (1) Holismo e Gestalt, envolve o período após a primeira grande guerra [Simon (<i>ibidem</i>), também inclui a ‘evolução criativa’. Lembra este autor que a complexidade focava que o todo era maior que a soma das partes, sendo assim, essencialmente anti-reducionista]; (2) Cibernética e Teoria Geral de Sistemas, apoiadas pelo desenvolvimento inicial dos computadores, onde os sistemas eram caixas pretas e o foco estava no feedback de controle e no auto-equilíbrio, sendo que esta onda envolve o período após a segunda grande guerra mundial [conforme Simon (<i>ibidem</i>) essa fase era mais neutra com relação ao reducionismo]; (3) corrente atual, que está associada à teoria da catástrofe, teoria do caos, sensibilidade às condições iniciais [conforme Simon (<i>ibidem</i>, p. 169 e 174), também inclui sistemas adaptativos, algoritmos genéticos e autômatos celulares, e enfatiza que o foco está nos aspectos que</p>

	criam e sustentam a complexidade].
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>Cita Cohen e Stewart, para diferenciar a ‘teoria do caos’ (na qual leis simples podem ter efeitos complicados e imprevisíveis) da ‘teoria da complexidade’ (na qual causas complexas [supõe-se no que tange ao conjunto e a evolução das interações, e não as regras que os elementos podem seguir, as quais podem ser simples] podem produzir efeitos simples).</p> <p>Apresenta seis insights sustentáveis cientificamente, retirados de publicações importantes relacionadas à complexidade: (1) muitos sistemas dinâmicos não alcançam nem um ponto fixo nem um equilíbrio cíclico [refere-se implicitamente a dinâmica longe do equilíbrio]; (2) processos aleatórios podem ser caóticos, e seus estados representados espacialmente [espaço de fase] evoluem em torno de ‘atratores estranhos’ que são objetos ‘fractais’; (3) Sistemas complexos podem ser bastante sensíveis às condições iniciais; (4) sistemas complexos resistem a simples análises reducionistas, por causa das interações e ciclos de feedback [envolvendo interdependência e feedback positivo que gera não-linearidade]; (5) configurações complexas podem emergir de interações de agentes que seguem regras relativamente simples; (6) sistemas complexos tendem a exibir comportamento auto-organizado.</p> <p>Diferencia sistemas dinâmicos determinísticos (teoria do caos e da catástrofe), que podem ser tratados por equações, de Sistemas Adaptativos Complexos (SACs). Entende que esse último é a melhor referência para tratar a complexidade organizacional e que o modelo de SAC simplifica a complexidade. Relativo à esse tema tem como principal referência as idéias de autores do <i>Santa Fe Institute</i> (tais como: Kauffman, Gellman e Holland) e também incorpora idéias de Prigogine sobre estruturas dissipativas.</p> <p>Admite não haver uma descrição universal aceita para SAC, mas apresenta quatro características deles que considera particularmente interessante para as teorias organizacionais: (1) ‘São compostos por agentes com esquematização’ [entende-se esquemas como padrões de interações internas e externas, que estabelecem configurações de conexões e tipos de relações que geram características emergentes dos sistemas], os esquemas podem ou não evoluir e ser ou não modelados por regras. Os SAC incorporam regularidades do ambiente em seu esquema, e podem decodificar o ambiente em diferentes esquemas que competem entre si para guiar suas ações adaptativas; (2) ‘São redes auto-organizadas sustentadas por importação de energia’; os agentes agem com base em informação local conectados a um grupo de outros agentes que fazem parte da conexão com o conjunto total de agentes, que por meio de interações não lineares, geradas por ciclos de feedback positivo</p>

	<p>provocam uma auto-organização do sistema sem um controle central. Considera auto-organização como uma ‘estrutura dissipativa’, que está associada à estados de organização que surgem longe do equilíbrio pela importação de energia [idéia que surge da termodinâmica do não-equilíbrio desenvolvida por Ilya Prigogine]; (3) “Ocorre co-evolução no limite do caos”. O enfoque dado está relacionado a uma co-evolução do comportamento dos agentes, os quais ao buscarem individualmente a melhor adaptação, e possuírem racionalidade limitada por serem incapazes de prever as consequências de suas escolhas, fazem com que o resultado obtido dependa da escolha dos outros agentes alterando o que seria anteriormente a melhor condição para cada agente. O equilíbrio da co-evolução é dinâmico, fazendo com que o sistema opere longe do equilíbrio, tal que os SAC caminham para ‘estados críticos’ de auto-organização (criticamente auto-organizados), operando no limite do caos; (4) “Recombinação e Evolução de Sistemas”, todo o SAC está sujeito à pressões evolucionárias. A entrada, transformação e saída de agentes, assim como, a própria modificação da estrutura de interconexões podem gerar evolução do sistema – simulações computacionais utilizando ‘autômatos celulares’, ‘redes neurais’ e ‘algoritmos genéticos’ têm sido úteis para compreensão dos SAC.</p>
5- Principais termos relacionados à complexidade	<p>Todo interdependente com seu ambiente; Muitas partes; Interações; Não-linearidade; Sistema dinâmico; Teoria da complexidade; Ciência da complexidade; Teoria do caos; Limite do caos; Sensibilidade às condições iniciais; Atratores estranhos; Fractais; Auto-organização; Emergência; Teoria da catástrofe; Sistema adaptativo Complexo (SAC); Agentes; Agentes com esquematização; Redes auto-organizadas; Importação de energia; Estruturas dissipativas; Estado longe do equilíbrio; Co-evolução; Estado Crítico – criticamente auto-organizado; Recombinação; Evolução; Autômatos Celulares; Redes Neurais; Algoritmos Genéticos.</p>
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>Associa organizações [empresariais] a SAC e ressalta a importância da interdependência como um conceito central para caracterizar uma organização.</p> <p>Estabelece uma proposta para correlacionar as quatro características apresentadas anteriormente para os SAC com a teoria organizacional: (1) ‘Agentes com esquemas’ – considera que as características emergentes decorrentes da perspectiva dos SAC [abordagem em multi-nível] para análise das organizações complementa, e não exclui, as análises de relações de causa e efeito no mesmo nível. O uso de modelos comportamentais baseados em regras é comum tanto em SAC quanto nas organizações, mas sabe-se que</p>

	<p>seus comportamentos não se limitam à regras, tal que, regras podem mudar sem gerar mudança de comportamentos e comportamentos podem mudar sem que haja mudança nas regras; em situações rotineiras os esquemas podem ser mais rígidos (procedimentos mais estruturados), mas diante de incertezas os esquemas devem ser mais gerais; incorporação das regularidades do ambiente em diferentes esquemas está associado à escolhas estratégicas e teste de diferentes esquemas para aprendizado. Baseado na perspectiva dos SACs pode-se desenvolver modelos de tomada de decisão. (2) ‘Redes auto-organizadas sustentadas por importação de energia’ – defini-se organizações como estruturas dissipativas com fornecimento de energia por seus <i>stakeholders</i>, devendo-se manter renovada sua fonte energia por meio da motivação, recrutamento de novas fontes de energia (membros, fornecedores, parceiros e clientes) ou estabelecimento novos desafios; quanto mais interações maior a possibilidade da emergência de padrões complexos, mas não necessariamente interações de todos com todos, pois quanto todos os agentes organizacionais estão conectados entre si, ou os resultados decaem ou o caos total surge. Estudos relacionados como os gestores inserem energia nas organizações estão distanciados das questões como padrões e estruturas emergem. (3) ‘Coevolução no limite do caos’ – as organizações devem se manter entre a flexibilidade e a estabilidade, no limite do caos, pois nessas condições ocorre uma seleção dos agentes mais adaptados [no sentido de maior repertório e flexibilidade] que contribuem para a co-evolução. (4) ‘Recombinação e evolução de sistemas’ – modelos organizacionais utilizando SACs como referência estabelecem que os indivíduos devem evoluir, e ainda, que muitos insights poderão ser obtidos sobre como as ligações sociais são quebradas e reconstituídas e sobre questões relacionadas a inovação. Organizações como SACs se distanciam de metas pré-estabelecidas para se adaptar à novas exigências ambientais.</p> <p>Na última parte do artigo acrescenta comentários sobre como a abordagem da complexidade pode contribuir para a gestão estratégica: a capacidade das organizações evoluírem por meio de improvisações e soluções auto-organizadas tornam-se mais importante do que planejamentos formais. Afirmo que pesquisadores sugerem que unidades de negócio orientadas por poucas regras evoluem mais rapidamente, e quando focadas em apenas determinadas áreas chave, surge sinergia entre elas. Sugere que a estratégia pode seguir a estrutura, tal que, os gestores através da re-configuração estrutural podem fazer emergir novas estratégias. Afirmo que estrategistas deviam se basear mais na evolução do que na previsão. Sugere rever sistemas</p>
--	---

	<p>de recompensas que estejam voltados para o reconhecimento no curto prazo. Considera que alterando prioridades entre metas de diferentes natureza pode-se manter uma dinâmica organizacional mais adequada.</p> <p>Afirma que muitas organizações modernas são SACs por excelência, e por consequência estudiosos das organizações estão aptos a entender a natureza da não-linearidade e das estruturas auto-organizadas.</p>
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Sugere que novas pesquisas deveriam ser realizadas utilizando a modelagem computacional, tendo como referência modelos adaptativos complexos, para melhor se entender questões organizacionais, tais como: a influência da alteração nas relações sociais e capacidade de inovação.</p> <p>Pondera que a ciência da complexidade, em especial a modelagem computacional de comportamentos não-lineares, e teorias organizacionais podem se complementar e co-evoluir. Prevê que a complexidade irá gerar uma onda de novas teorias de estratégia.</p>

Análise de conteúdo do artigo 2 - *Through the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving system*

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	Inicialmente limitaram-se associá-la à sistemas dinâmicos. Na sequência afirmam não existir um conceito claro e universalmente aceito de complexidade dentro da TSC (Teoria de Sistemas Complexos). Mas consideram que sistemas complexos são fáceis de reconhecer e duas características são comuns: grande número de elementos interagindo (através de feedbacks que geram não linearidade) e propriedades emergentes. Mas, em outro lugar do artigo afirma-se que a questão de um grande número de agentes deve ser considerada com cautela em organizações humanas, que são sistemas complexos
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	Referem-se à uma “Teoria de sistemas complexos” (TSC). Afirmam que deve ser considerada mais como uma perspectiva multidisciplinar [em alguns momentos usa o termo interdisciplinar] do que uma teoria unificada. Assim, argumentam que hipóteses e princípios não seriam adequados para abordá-la.
3- Evolução da complexidade	Consideram que suas raízes estão relacionadas com a história da matemática, lingüística, economia e biologia. Afirmam que os pesquisadores atuais da TSC estão fascinados pela utilização de recursos computacionais na exploração da dinâmica não linear [de sistemas].
4- Abordagem teórica da complexidade	Coloca-se no início do artigo que a TSC deve ser vista em uma perspectiva mais ampla do que receitas matemáticas ou algoritmos que poderiam ser aplicados diretamente na TO (Teoria das Organizações). Mas, ao longo do artigo, contradizem essa afirmação e argumentam que a aplicação da TSC na TO deveria se limitar a modelos matemáticos e computacionais. Afirmam literalmente que as principais ferramentas da TSC são a modelagem matemática e a simulação computacional, utilizando principalmente autômatos celulares. Mas em outro ponto do artigo afirmam que o estágio atual de entendimento da auto-organização e sua relação com TO pode estar mais relacionada com enriquecimento conceitual do que com modelagem matemática. Consideram que propriedades emergentes [uma das características citadas como comumente observada em sistemas complexos] surgem do comportamento coletivo, e que a tendência é relacionar comportamentos complexos à regras simples de interação. Questionam a relação do conceito de caos com sistemas complexos, tal que estes não precisam ser caóticos e caos não está necessariamente relacionado com a complexidade.

	<p>Consideram quatro áreas relevantes (denominadas em outro ponto do artigo como paradigmas) da TSC para a TO: (1) ‘SACs’ (sistemas adaptativos complexos) – compostos por agentes interativos e adaptativos, sendo que a complexidade surge como resultado do comportamento desses agentes. Consideram como fraqueza [conceitual] dos SACs a premissa que os agentes [que compõem o SAC] devem ser adaptativos para o entendimento da auto-organização e que são necessários determinados pré-requisitos para que ela ocorra, tais como manter o sistema fora do equilíbrio; (2) ‘Auto-similaridade e fractais’ – afirmam que a auto-similaridade é uma característica que se busca nos SAC, e a define como a invariância que o sistema mantém ao se mudar de escala. Consideram a ferramenta adequada para seu estudo a matemática de fractais de Mandelbrot; (3) ‘Criticalidade auto-organizada’ (CAO) ou estado criticamente auto-organizado - entendem que esse conceito pode ser melhor compreendido através de dois exemplos que foram largamente estudados: pilha de areia e evolução biológica através do <i>equilíbrio intervalado</i>⁷⁹. A pilha de areia está associada à avalanche que ocorre após um valor crítico de empilhamento de grãos de areia. Tal que a frequência das avalanches é inversamente proporcional ao seu tamanho (lei 1/f). A evolução biológica por equilíbrio intervalado está associada à idéia de haver explosão da vida no planeta intercalada por longos momentos de estagnação [e ocorrência de extinções em massa]. A frequência dos períodos com grande desenvolvimento biológico é inversamente proporcional ao tamanho desse desenvolvimento (novamente a lei 1/f). Assim uma evidência de um sistema ser CAO está na identificação de ocorrências de fenômenos associados à lei 1/f; (4) ‘Auto-organização’ – os autores a definem como um processo dinâmico que surge da própria dinâmica do sistema, o qual obtém mais organização espontaneamente. Mas, no entendimento dos autores, ainda não existem boas caracterizações de sistemas se auto-organizando. Consideram essa área de grande significado para a TSC, principalmente por se desviar do segundo princípio da termodinâmica em função de se tratar de sistemas abertos fora do equilíbrio. Afirmam que o comportamento de auto-organização é melhor caracterizado em sistemas com grande número de elementos interagindo, tanto que com o aumento da conectividade esses sistemas apresentam comportamento de auto-organização antes denominado de caótico [afirmação que merece maiores cuidados, pois, conforme o estudo de redes em simulações computacionais, o excesso de conectividade pode impedir a auto-organização].</p>
--	---

⁷⁹ Pode-se entender também como ‘equilíbrio pontuado’.

	<p>A ênfase dada pelos autores está voltada para os denominados paradigmas (3) e (4).</p> <p>Os autores insistem na proposta de que a auto-organização biológica difere da auto-organização que pode ser modelada matematicamente, a qual denominam auto-organização dinâmica.</p>
5- Principais termos relacionados à complexidade	<p>Grande número de elementos interagindo⁸⁰; Propriedades emergentes ou emergência; Regras simples de interação; Teoria de sistemas complexos; Sistemas dinâmicos; feedback [positivo]; Não linearidade; Agentes; Autômatos celulares; Sistemas Adaptativos Complexos (SAC); Abordagem em mais de um nível [abordagem multi-nível]; Auto-similaridade e Fractais; Sistemas Criticamente Auto-organizados; Equilíbrio intervalado; Lei 1/f [leis de potência]; Auto-organização; Sistemas Longe do Equilíbrio; distinção entre “auto-organização dinâmica” (observada matematicamente) e “auto-organização biológica”; Evolução; Redes; Auto-organização Dissipativa [de Prigogine]; Modelagem matemática e simulação computacional.</p>
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>Consideram que desde décadas atrás as organizações são vistas como sistemas, e que atualmente estão associadas à sistemas dinâmicos que se adaptam e evoluem, sendo consideradas sistemas complexos, conforme o referencial da ‘Teoria de Sistemas complexos’.</p> <p>Afirma que organizações são consideradas sistemas complexos por serem constituídas por indivíduos, grupos e departamentos que interagem entre si por mecanismos de feedback.</p> <p>Como consideram o conceito de caos distinto, e não necessariamente relacionado com sistemas complexos, ponderam que o conceito de caos pode ser útil para a TO, mas a abordagem de TSC é mais útil para as organizações.</p> <p>Cita-se que a proposta do artigo está relacionada a demonstrar a aplicação dos conceitos de TSC em duas áreas da TO: evolução organizacional e análise de redes sociais.</p> <p>Para os autores os SACs seriam úteis para o estudo de emergência de hierarquias.</p> <p>Sugerem que fractais poderiam ser úteis no estudo de fenômenos comuns em diferentes níveis de sistemas, como aprendizagem individual, de grupo e organizacional.</p> <p>Sugerem que a distribuição dos tamanhos das empresas se comportam como sistemas criticamente auto-organizados – obedecem a lei 1/f.</p> <p>Organizações são vistas como sistemas auto-organizados.</p> <p>Argumentam que a TSC é somente útil para a TO quando puder explicar os</p>

⁸⁰ Apesar de sugerir que deve-se ser cauteloso com essa idéia ao abordar sistemas sociais.

	<p>fenômenos organizacionais através da representação matemática e computacional [contradizendo afirmações anteriores].</p> <p>Sugere que apenas a dinâmica de auto-organização observada matematicamente possui relevância para a TO. Afirmam que a auto-organização biológica não deve ser utilizada para TO.</p> <p>Ao explorar a questão da “evolução organizacional” apresentam algumas proposições que estariam relacionadas às organizações, as quais estão expostas a seguir:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ‘A dinâmica evolucionária implícita nas mudanças organizacionais é uma mistura de aleatoriedade e reação [deliberada] às pressões externas e internas. Apesar de não estar dirigida para uma maior adaptabilidade’ – concluem que mudanças são incontroláveis e com conseqüências difíceis de se prever. ▪ ‘É possível definir regras evolucionárias de mudanças de formas organizacionais as quais não são diretamente extraídas da adaptação de funções’ – consideram que sob a perspectiva da TSC a estrutura é uma propriedade emergente. Os autores apresentam novamente um conflito contraditório ao afirmarem que a ecologia das organizações apresenta similaridades com a ecologia biológica e, na seqüência, afirmarem que os modelos dessas distintas ecologias (das organizações e biológica) incorporam regras diferentes. ▪ ‘Adaptação pode ser obtida de mudanças até mesmo se regras de evolução não são elaboradas com algoritmos de otimização da adaptação das funções’ – afirmam que organizações podem evoluir mesmo quando não tentam maximizar a adaptação de suas funções. Desta forma pode-se estudar a evolução organizacional utilizando regras consistentes com a propriedade de racionalidade limitada dos sistemas organizacionais. É utilizado o conceito de “nível de referência de desempenho”, o qual está relacionado ao mais baixo nível apresentado na história de determinada forma organizacional. Assim, ao longo de uma evolução esse mínimo vai aumentando até torna-se estacionário. Tal que, as regras de evolução não tentam maximizar a adaptação das funções, mas simplesmente refletem o desejo de melhorar o menor nível percebido de desempenho dentro da organização. Ou seja, considera-se como uma das principais idéias a possibilidade de haver evolução sem algoritmos de otimização das funções e, ainda, considera que a dinâmica do nível de referência reflete melhor como as organizações medem seu desempenho. Isto é, as organizações estão mais voltadas para melhorar
--	--

	<p>seu pior desempenho do que atingir metas de maximização de desempenho.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ‘A dinâmica de evolução do “nível de referência de desempenho” é criticamente auto-organizada’ – Afirmam que, segundo a TSC, todas as organizações evoluem, só que não necessariamente dirigidas para adaptações bem sucedidas. Considera que a evolução do nível de referência das organizações se comporta como um sistema criticamente auto-organizado. Consideram que pesquisadores devem estar atentos se fenômenos organizacionais apresentam características relacionadas a lei $1/f$, pois isto pode sugerir que algum processo adaptativo está em andamento. Afirmam que a característica $1/f$ dos sistemas CAO é uma propriedade estatística, mas essa relação é confusa e complica a interpretação de uma emergência da lei $1/f$. Argumenta que a adaptabilidade de uma organização está provavelmente relacionada com as mudanças de desempenho organizacional. E uma organização só exibe adaptabilidade quando a mudança em uma unidade afeta as outras de tal forma que a mudança passa a ser apreendida por todo o modelo. Afirmam, ainda, que a máxima adaptabilidade da organização pode corresponder à situação em que as mudanças constroem um sistema criticamente auto-organizado. <p>Da mesma forma ao explorar a questão da auto-organização, apresentam também algumas proposições:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ‘A auto-organização dinâmica não tem o potencial para explicar a tendência sistemática da vida em aumentar a complexidade em um passo acelerado’ – citam que para estudar a complexidade da vida deve-se considerar a auto-organização biológica, e sugerem como referência teórica a proposta de Kauffman [biólogo do <i>Santa Fe Institute</i>]. ▪ ‘A simples ocorrência de um grande número de nós em um esquema aleatório gera condição para auto-organização, a qual não existe para um pequeno número’ – Afirmam que, enquanto o efeito de um grande número é relevante para auto-organização em biologia, é necessário ser cauteloso sobre isso nas organizações. Argumentam que um grande número em física e biologia são da ordem de milhões. Já em um contexto social é difícil de se estabelecer claramente, pois as interações entre os seres humanos geram complexidade. Os autores citam o paradigma da “auto-organização dissipativa” criado por Prigogine, a qual ocorre em
--	--

	<p>situações longe do equilíbrio. Referem-se a essa abordagem da dissipação como útil para entender as transformações em situações de turbulência, mas afirmam que não é suficiente para tratar o aumento da complicação das estruturas organizacionais que emergem devido a auto-organização.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ‘Conectividade é um importante parâmetro para a dinâmica da auto-organização. A interação entre complicadas unidades funcionais [agentes adaptativos] pode resultar em um auto-organizado aumento de complexidade’ – Os autores consideram que existem mais questionamentos do que respostas envolvendo auto-organização e a TSC. Ponderam que no estágio atual de entendimento da auto-organização, a sua relação com a TO pode estar mais relacionada com o seu enriquecimento conceitual do que com o desenvolvimento de modelos matemáticos. Por exemplo, levantam a questão (que para eles deveria ser objeto de estudo): como a tecnologia pode afetar a auto-organização já que ela pode aumentar mais a taxa de conexões do que o aumento do número de agentes. <p>Ao mesmo tempo em que se questiona a possibilidade de transpor conclusões de sistemas modelados computacionalmente, utilizando-se autômatos celulares, para sistemas organizacionais humanos, os autores afirmam que a TSC pode ser uma ferramenta poderosa para o entendimento do ciclo de vida das organizações, da origem da adaptabilidade e da emergência da hierarquia e suas funções.</p> <p>Ao mesmo tempo em que afirmam que abordagem da TO sob a perspectiva da TSC pode levar a certos vieses, afirmam também que a TSC e a TO podem vir a se beneficiar mutuamente.</p>
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Sugerem que os conceitos de auto-organização e sistemas criticamente auto-organizados necessitam de refinamento e que poderiam ser melhor entendidos se fossem estudados em contextos empresariais</p>

Análise de conteúdo do artigo 3 - *The science of Complexity: an alternative perspective for strategic change processes*

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	O autor relaciona a complexidade com propriedades dinâmicas não-lineares e sistemas de rede de feedback.
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	Faz referência a 'ciência da complexidade'.
3- Evolução da complexidade	Contrapõe a ciência da complexidade à física newtoniana e à evolução darwiniana [quanto à esta última entende-se que isso se justificaria apenas quanto à idéia de ser uma proposta de uma evolução gradual e 'totalmente' aleatória] e considera-a oriunda de desenvolvimentos da física, biologia e matemática.
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>Afirma que em sistemas longe do equilíbrio ocorre um processo interno espontâneo de auto-organização entre os agentes do sistema.</p> <p>Argumenta que a maior parte dos trabalhos relacionados à complexidade está desenvolvida com base nos sistemas da natureza, mas há um crescente interesse em relação ao sistemas sociais. Em relação à complexidade aplicada em sistemas da natureza, faz referência à Prigogine, Nicolis e Stengers. Quanto aos autores com interesse em aplicar a complexidade nos sistemas sociais cita Arrow e Pines, Nonaka, Peters, Wheatley, Zimmerman e Goldstein. Considera, para aplicação às organizações, duas propriedades dinâmicas especialmente importantes, e que são comuns à todos sistemas de feedback não lineares em rede: (1) Instabilidade Limitada e (2) Auto-organização Espontânea e Ordem Emergente. Afirma que tais propriedades tem sido identificadas em sistemas de feedback não-linear, citando como exemplo autômatos celulares e sistemas adaptativos complexos.</p> <p>As principais idéias apresentadas com relação à propriedade (1) são: quando feedbacks não-lineares operam no limite da instabilidade (ou no limite da estabilidade) o comportamento do sistema é, paradoxalmente, instável e estável ao mesmo tempo. O comportamento no limite da estabilidade segue de forma aleatória e imprevisível ao longo do tempo, mas dentro de certos limites, tal que isso é que é denominado de instabilidade limitada. Conforme o autor, esse comportamento tem recebido nomes como: caos, atratores estranhos, fractal e limite do caos e, apesar de considerar que existe diferenças em relação ao preciso significado desses termos, afirma que todos esses termos descrevem um estado de comportamento complexo. Argumenta</p>

	<p>que a razão para este comportamento “estranho” é que o sistema utiliza tanto feedback negativo (que levaria à estabilidade) quanto positivo (que levaria à instabilidade); afirma que neste estado de instabilidade limitada há a possibilidade de pequenas mudanças, que podem ser impossíveis de serem detectadas ou mensuradas, desencadearem grandes alterações qualitativas do sistema, assim, continua o autor, “sensibilidade às condições iniciais” significa que relações entre causas específicas e efeitos específicos são perdidas na complexidade dos acontecimentos. O autor coloca que resultados emergem das próprias interações entre os agentes e os padrões de comportamento que emergem caem dentro de categorias reconhecidas, tal que, os comportamentos podem ser similares mas nunca são os mesmos.</p> <p>Com relação à propriedade (2) as principais idéias apresentadas são: [baseado em Kauffman, como o próprio autor cita] que uma maneira de se conceber sistemas de feedback é por meio da rede booleana⁸¹ [ilustra com aplicação em circuito de lâmpadas], a qual consiste de um conjunto de elementos ou células, onde cada elemento está conectado à outros. Cada elemento envia <i>outputs</i> para todos ou alguns daqueles com que está conectado, de acordo com os <i>inputs</i> que esse elemento recebe e das regras que ele segue para responder esse <i>input</i>. O autor argumenta que se todos os elementos estão conectados à todos os outros elementos, surpreendentemente todo o sistema se comporta aleatoriamente, nunca repetindo um padrão. E qualquer pequena alteração no padrão inicial levará a padrões subsequentes completamente diferentes da sequência anterior. Em contrapartida o autor argumenta que quando existe poucas conexões todo o sistema se fixa em um determinado estado ordenado. Portanto, ressalta o artigo, regras locais aleatórias de comportamento podem resultar em uma ordem emergente no nível global. O que é uma surpresa, pois não há nada nas regras individuais de decisão que determine isso. Assim, os padrões emergentes são uma propriedade do sistema, ou seja, mais decorrentes das interações do que dos indivíduos.</p> <p>O autor cita que análises de autômatos celulares – sistemas semelhantes às redes booleanas – também têm demonstrado que sistemas produzem estados estáveis simples de comportamento quando a conectividade é esparsa, e quando a conectividade é muito rica formam-se padrões de aleatoriedade.</p> <p>O autor argumenta que, com base também na rede booleana e autômatos celulares, logo antes dos sistemas se tornarem completamente aleatórios, no limite do caos, surge outro tipo de comportamento: desenvolvem-se</p>
--	--

⁸¹ George Boole, com a finalidade de reproduzir as operações do raciocínio, desenvolveu a lógica binária em 1854 que se tornou essencial para a manipulação de informações pelos computadores muitos anos depois (com base em Guedes [a], 1999)

	<p>estruturas coerentes, que se desfazem em fragmentos e se recombinaem em diferentes padrões, de uma maneira contínua [cita como referência um dos grandes pesquisadores de autômatos celulares: Wolfram]. Portanto, afirma-se no artigo, que o processo de conexões aleatórias em rede pode produzir diferentes tipos de ordem, ou padrões de comportamento: quando conexões são esparsas a ordem emergente toma uma forma imutável; quando há um rico padrão de conexões o sistema se torna mutável, com novas formas emergindo continuamente; mas se as conexões se tornam muito ricas, o sistema se torna tão hiper-ativo que é difícil de identificar qualquer sentido. O autor coloca que as análises das redes Booleanas sugerem que o número de nós aleatórios, mais do que forças e fraquezas individuais, é que determinam a variedade de comportamentos do sistema [a questão da aleatoriedade é importante, mas não se deve entender que quanto mais aleatório for o número de nós maior a variedade do sistema, apenas que a variedade depende de certo grau de aleatoriedade].</p> <p>O autor considera que o estado do sistema é o resultado de todos os detalhes da sua história, tal que o seu futuro está aberto e desconhecido até que ocorra.</p>
5- Principais termos relacionados à complexidade	<p>Ciência da complexidade; dinâmica não-linear; auto-organização; redes (ciclos) de feedback; feedback positivo e negativo; feedback não-lineares; paradoxos; conflito; causalidade circular; destruição criativa; sistemas longe do equilíbrio; limite da instabilidade (ou da estabilidade, ou ainda, instabilidade limitada); caos; atratores estranhos; fractal; interações; limite do caos; ordem emergente ou emergência; sensibilidade às condições iniciais; rede booleana; redes conectadas com regras locais aleatórias; autômatos celulares; SAC; dinâmica evolucionária; incerteza; surpresa; redes informais.</p>
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>Afirma que abordagem da ciência da complexidade revela que a produção de inovação e criatividade ocorre longe do equilíbrio.</p> <p>Sugere que a ciência da complexidade pode prover uma estrutura conceitual alternativa para abordagem da estratégia. Considera que existem duas abordagens tradicionais da estratégia: (1) escola de escolhas estratégicas; (2) escola ecológica. Sendo que essas abordagens tradicionais assumem que as organizações e seus ambientes são sistemas com relações de causa específicas com efeitos específicos, onde feedbacks negativos asseguram o movimento desses em direção de estados de equilíbrio estáveis. Sendo que na primeira perspectiva as organizações buscam intencionalmente o equilíbrio adaptativo, e na segunda as organizações são selecionadas pelo ambiente também de acordo com o critério de equilíbrio adaptativo. Sob ambas</p>

	<p>perspectivas qualquer desordem é consequência de ignorância, inércia ou incompetência.</p> <p>As organizações devem ser vistas como sistemas não equilibrados com uma dinâmica desordenada, com processos de natureza contraditória. Isso torna os resultados em parte emergentes e em parte decorrente de escolhas intencionais.</p> <p>As organizações fazem parte de sistemas mais amplos que evoluem por meio de processos de destruição criativa e auto-organização, de forma tão complexa que os agentes não podem planejar seu futuro a longo prazo.</p> <p>Nas organizações regularidades ocorrem por ser o comportamento condicionado por questões institucionalizadas, mas os indivíduos são livres para romper com essas questões e mudar as próprias instituições. Assim, irregularidade e desordem podem ocorrer pela natureza do sistema em si.</p> <p>Não linearidade e ciclos de feedback positivo são propriedades das organizações, por isso, padrões de comportamento podem emergir sem uma intenção definida, e até mesmo contrariamente à uma intenção. Políticas aparentemente favoráveis à uma área podem amplificar resultados adversos em outras áreas.</p> <p>Considera que nas organizações a não linearidade se deve pelas seguintes razões: as escolhas dos agentes do sistema são baseadas em suas percepções as quais levam à reações não proporcionais; existem diferentes resultados possíveis para qualquer ação; o comportamento grupal é mais do que a soma de comportamentos individuais; resultados são normalmente fruto de uma obstinação individual e são frequentemente peculiares, e ainda, pequenas mudanças podem gerar grandes resultados.</p> <p>Afirma em relação à instabilidade limitada que o conteúdo conceitual e filosófico, mais que a precisão matemática, é a chave para a teorização gerencial e organizacional.</p> <p>O autor pondera que: mesmo que de forma indireta, as interações entre os agentes e através das fronteiras do sistema criam e recriam seus ambientes; existem leis determinísticas que levam à resultados imprevisíveis e emergentes; desordem não é simplesmente resultado da inércia, incompetência e ignorância, é uma propriedade fundamental de sistemas criativos; e que o conceito de instabilidade limitada pode ser usado para identificar, de forma mais compreensiva, as consequências das noções de paradoxo, laços de feedback circular, processos de feedback positivo e</p>
--	--

	<p>emergência, e ainda, como a questão da escolha estabelece que os indivíduos podem fazer a maior diferença⁸².</p> <p>Conforme o autor as organizações são compostas por sistemas formais e informais, e ao considerarmos estabilidade e instabilidade em uma dinâmica organizacional devemos distinguir entre esses dois sistemas.</p> <p>Para o autor o sistema formal existe na organização para tornar as atividades repetitivas do dia a dia tão eficientes quanto possível, utilizando-se de hierarquia bem definida, regras e procedimentos. Afirma que este sistema [formal] resiste à mudanças, por manter o <i>status quo</i> em nome da eficiência e ser ordenado e estável. Considera que forças de integração, controles de manutenção [feedback negativo] e a necessidade de se adaptar ao ambiente forçam o sistema formal em direção ao equilíbrio estável. E ainda, quando essas forças são reforçadas pelo sistema informal, a organização, como um todo, é atraída para o equilíbrio estável.</p> <p>Para o autor ao mesmo tempo em que as organizações são forçadas para a estabilidade, elas são forçadas para a direção oposta pelas forças de divisão e descentralização. Para ele os sistemas informais são fontes de forças para a instabilidade por serem um veículo para a busca de satisfação de desejos humanos, tais como: excitação e inovação, isolamento do seu ambiente, agressão e individualidade, e quando os sistemas informais são dominados por tais padrões de comportamento eles forçam toda a organização para fragmentação e instabilidade.</p> <p>Afirma, ainda, que o atrator para instabilidade significa, em termos organizacionais, comportamento de feedback positivo, tal como interações políticas e mecanismos de defesa organizacional [cita Chris Argyris como referência para esse tema]. Conclui, que para uma organização ser maleável às mudanças, o sistema informal invisível deve operar [buscando alterar o <i>status quo</i>, para levar o sistema] no limite da instabilidade.</p> <p>O autor apresenta exemplos de caos nas organizações, todos citando conflitos, tais como: enquanto determinados gestores atuam no sistema formal utilizando mecanismos orçamentários de controle para manter a estabilidade organizacional, outros gestores atuam simultaneamente em redes de relacionamentos para ficar à margem desses mecanismos, engajados em amplificar atividades políticas para tentar debilitar o <i>status quo</i>.</p> <p>O autor afirma que, quando a tarefa principal da organização está voltada</p>
--	---

⁸² É interessante observar que, conforme Gharajedaghi (2006), esta questão já tinha sido levantada por Ackoff em um artigo de 1979 intitulado: “O futuro da pesquisa operacional é passado”. Neste, Ackoff passa a ser um crítico da pesquisa operacional, a qual foi um dos fundadores, em função dela não considerar a autonomia de escolha dos participantes do sistema.

	<p>para geração de novos produtos e serviços, com contínua renovação e transformação, ela deve operar no “caos” (no limite da instabilidade), pois, o verdadeiramente novo seria por definição imprevisível.</p> <p>Argumenta que para uma organização ser inovadora a escolha estratégica está relacionada não à resultados específicos mas ao tipo de dinâmica organizacional, isto é, a escolha de operar no limite [da instabilidade], onde os resultados são desconhecidos [imprevisíveis].</p> <p>Afirma que mesmo aquelas organizações que escolheram operar no limite da instabilidade existirão as bem sucedidas e aquelas que serão varridas pela seleção competitiva, mas para que situações como essa façam sentido deve-se tentar entender a dinâmica de todos os sistemas.</p> <p>Para o autor a perspectiva de “sistemas complexos” está preocupada com a dinâmica de todos os sistemas, e que, no nível organizacional, o foco é a dinâmica evolucionária e transformacional das redes informais, as quais provêm de forças para mudança [no sentido do “caos”, ou seja, da instabilidade limitada]. E, ainda, considera que as redes informais geralmente são melhor estabelecidas de maneira aleatória, dependendo de encontros casuais e proximidade social.</p> <p>O autor reconhece que o conceito de rede conectando indivíduos já é amplamente utilizado na literatura gerencial. Afirma que estruturas formais são tipos de rede onde as conexões entre os indivíduos são centralmente estabelecidas e claramente definidas, enquanto as redes informais são semelhantes a rede booleanas. Tal que, quando existem poucas conexões informais entre as pessoas dentro e através das fronteiras organizacionais, pode-se esperar uma organização estável, devendo-se esperar maior capacidade de mudança à medida que se aproxima do caos.</p> <p>A ciência da complexidade leva a seguinte proposição sobre organizações mutáveis: a mutabilidade torna-se uma propriedade interna da organização quando seu sistema de rede informal, consistindo de padrões auto-organizados de conexões dentro e através das fronteiras, está ricamente conectado o bastante para operar no limite da instabilidade onde ele produz uma contínua mudança de padrões emergentes de comportamento.</p> <p>O autor resume a abordagem da nova perspectiva da estratégia relacionando-a à três questões específicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Propriedades sistêmicas: o foco não está no equilíbrio mas no paradoxo longe do equilíbrio onde a dinâmica é instável e estável ao mesmo tempo. Esse comportamento caótico está relacionado com as redes informais estabelecidas aleatoriamente e de maneira auto-
--	--

	<p>organizada.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Escolha versus determinismo e restrições: os agentes podem fazer escolhas embora hajam limitações estruturais do sistema, tal que, apesar das limitações estruturais existe abertura de possibilidades quanto aos seus resultados. A maior restrição é relativa à estruturas de feedback auto-organizador estabelecidas entre as pessoas. 3. Intenção versus emergência: o novo foco está na os processos de evolução e transformação, na forma de atividades de redes auto-organizadas provocadas por desordem, conflito e desacordos, produzido resultados mais emergentes do que intencionais. <p>O autor alerta para ter cuidados com as “visões compartilhadas”, uma imagem compartilhada do futuro estado da organização, pois em sistemas [com dinâmica não-linear] sujeitos à mudança não se pode estabelecer uma significativa imagem do estado futuro. Além disso, esse tipo de consenso remove a possibilidade do caos que a organização deve experimentar para ser inovadora.</p>
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Trata essa questão quanto à implicações para: (1) o conteúdo de pesquisa e (2) a metodologia de pesquisa.</p> <p>Com relação ao (1) conteúdo de pesquisa argumenta que a tradição, na gestão estratégica, está relacionada à reduzir o nível de incerteza, mas a ciência da complexidade coloca uma questão diferente: como os gestores deveriam se comportar na presença de incertezas inevitáveis e surpresas?</p> <p>Também considera que pesquisas sobre redes e organizações de aprendizagem estão sendo colocadas como questões centrais na pesquisa de processos estratégicos.</p> <p>Sugere como objeto de pesquisa a possibilidade dos gestores continuarem adotando procedimentos de planejamento e análise, inadequados para questões de longo prazo, como forma de defesa contra ansiedade, deles mesmos, que a incerteza provoca.</p> <p>Argumenta que pesquisas são necessárias para melhor entender como líderes afetam e são afetados por redes informais das quais eles fazem parte.</p> <p>Considera que a perspectiva da complexidade estabelece a seguinte questão [a qual pode ser entendida como objeto de pesquisa]: qual a utilidade de se distinguir tática de estratégia quando pequenas ações não detectáveis podem gerar resultados de grande escala?</p> <p>Com relação à (2) metodologia de pesquisa, argumenta que como se utiliza comumente questionários, entrevistas e estatísticas, existem alguns</p>

	<p>problemas. Considera que as teorias em uso frequentemente são diferentes daquelas expostas pelas pessoas e ainda que o comportamento real das pessoas nas organizações são guiados por pressuposições que estão abaixo do nível da consciência, tal que a importância do conhecimento tácito nas organizações vem sendo estabelecido (estabelece como referência o autor Nonaka). Isso tudo faz com que resultados de pesquisa [com essa metodologia] não sejam tão confiáveis.</p> <p>Em adição as dificuldades anteriores, o autor considera que a abordagem reducionista, onde causas são estabelecidas independentes uma das outras, presume que os sistemas estudados são lineares ou, se forem não lineares, é desejável que operarem no estado de equilíbrio estável. Mas, na perspectiva da complexidade organizações são essencialmente sistemas não-lineares e para serem criativas devem operar longe do equilíbrio, assim, abordagens reducionistas de pesquisa provavelmente produzem resultados equivocados.</p> <p>Assim, conclui, que ao invés de procurar por causas e efeitos é necessário procurar por padrões [globais] e suas implicações sistêmicas. Sugere como alternativa para pesquisa o método etnográfico e abordagem clínica. Tal que os pesquisadores devem observar o que é estranho, contraditório e paradoxal, e ainda, devem e preocupar não com o factual, no sentido da linguagem descritiva concreta, mas com metáforas e imagens que as pessoas usam.</p>
--	--

Análise de conteúdo do artigo 4 – *Designing Work Within and Between Organizations*

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	Como o enfoque da complexidade está relacionado à mudanças de design de trabalho, faz referência a natureza da sua contribuição quanto à dois aspectos: (1) dado um número de elementos e interações, mudanças de design são reflexo da dinâmica não-linear; (2) as mudanças de design podem ocorrer em múltiplos níveis, devido a não-linearidade [Assim, fica implícito a associação da complexidade à não linearidade].
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	Faz referência à uma 'perspectiva da complexidade'.
3- Evolução da complexidade	A única referência relacionada à evolução da complexidade é quando afirmam que durante os dez últimos anos [com base na data de publicação do artigo, significa: a partir de 1995] tem emergido uma literatura relacionada à complexidade organizacional.
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>Classificam as dinâmicas de sistemas em quatro padrões, em função do número de causas e da natureza das inter-relações provocadas pelas causas, que estão representadas na figura a seguir:</p> <p>Fig: Padrões de dinâmicas de sistema baseadas em Sinha e Van de Ven, 1995.</p> <p>Afirma que modelos determinísticos (tal como análise de regressão) são apropriados para explicar dinâmicas periódicas de sistemas, ou equilíbrio estático, e a probabilidade deve ser usada para exame da aleatoriedade, mas poucos acadêmicos organizacionais têm explorado modelos com dinâmica</p>

	<p>não-linear para explicar as dinâmicas caóticas e de equilíbrio intervalado.</p> <p>Para tal, sugerem como modelo mais influente o de Stuart Kauffman, que é baseado na teoria de sistemas adaptativos complexos (SAC) e em experimentos utilizando princípios de redes booleanas. Esse autor enfatiza a importância da auto-organização e ações locais na produção de resultados agregados, ao invés das teorias tradicionais de estrutura e controle central. Afirmam que a interação entre elementos pode produzir surpresas e comportamento emergente que podem ser modelados em termos de <i>fitness landscape</i>⁸³ [cenário de aptidão]. Voltam a explorar as idéias de Kauffman, o qual utiliza o conceito de <i>fitness landscape</i> em seu modelo NK(C), onde N é o número de elementos, K o grau de interdependência entre os elementos e C reflete a conexão com outros sistemas que co-evoluem no mesmo cenário considerado. Entretanto, afirmam que modelos de sistemas adaptativos complexos (SAC), os quais consideram ser freqüentemente baseados no modelo de Kauffman, tendem a ser muito generalistas e abstratos e portanto são muito criticados quanto a sua aplicabilidade em problemas organizacionais. Mas, concomitantemente, ponderam que o uso de <i>fitness landscape</i> pode prover um avanço para o nosso entendimento da complexidade organizacional. Entretanto apresentam-se também cautelosos a esse respeito ao citar as dificuldades apresentadas por Anderson, o qual coloca que as adaptações dos agentes em seus cenários envolvem muito mais complicações que os modelos de SACs podem visualizar. Apesar de colocarem que métodos de análises de fronteira podem ajudar a lidar com tais dificuldades apresentadas.</p>
5- Principais termos relacionados à complexidade	<p>Número de elementos; Interações; Interdependência; Perspectiva da complexidade; Dinâmica não-linear; Dinâmicas caóticas; Equilíbrio intervalado; Sistemas Adaptativos Complexos (SAC); Redes booleanas; Auto-organização; Surpresas; Comportamento emergente; <i>Fitness landscape</i>; co-evolução; Agentes; <i>Network</i>; <i>Network</i> complexa.</p>
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>O artigo procura ressaltar a necessidade de retomar estudos da estrutura organizacional do trabalho [design organizacional] devido ao impacto que ela gera ao desempenho organizacional e a produtividade econômica. Definem a estrutura do trabalho como sistemas de arranjos e procedimentos, envolvendo duas dimensões em função da divisão do trabalho: divisão vertical (níveis</p>

⁸³ Termo associado à uma técnica que utiliza normalmente gráficos tridimensionais, cuja representação parece um cenário de um terreno montanhoso. Esse, em função das variáveis, pode se apresentar bastante irregular com uma diversidade de picos e vales ou bastante simples com um vale apenas, tais picos e vales representam a performance do sistema segundo uma determinada variável. O cenário considerado em uma perspectiva temporal pode se transformar em função de fatores de co-evolução.

	<p>hierárquicos) e divisão horizontal (a qual pode envolver unidades organizacionais internas ou de outras empresas).</p> <p>Defendem a idéia que é necessário desenvolver novas teorias e métodos para entender a natureza do trabalho, que se alterou nos últimos anos, dentro e entre as organizações.</p> <p>Os autores consideram que a tecnologia de informática, as políticas econômicas mais liberais, com menos barreiras entre os países, e a difusão global de competências propiciaram novas estruturas de trabalho, que se desenvolveram em uma economia de intenso conhecimento. Assim, concluem, as estruturas transcendem os limites organizacionais, profissões e países, e os trabalhos podem ocorrer em várias localizações simultaneamente. Tal que a competição pelo trabalho está crescendo entre as organizações em diferentes países e culturas. Muitas organizações estão focando nas suas competências distintivas, terceirizando o resto, atuando como nós em sistemas de redes de trabalho, fazendo com que a competição passe a ser entre redes de trabalho de empresas (<i>networks</i> de trabalho), e não mais entre empresas apenas.</p> <p>Os autores destacam que as dimensões horizontais e verticais de um sistema de trabalho ressaltam três problemas inter-relacionados ao problema da estrutura do trabalho, de grande interesse tanto para os práticos quanto os acadêmicos:</p> <p>(1) [Relacionado à divisão horizontal do trabalho] Um problema <i>modular</i> de dividir o trabalho e especificar a natureza das responsabilidades entre unidades organizacionais de uma ou mais empresas que abastecem os subsistemas (exemplo: componentes e módulos) de um sistema de trabalho.</p> <p>Para um prático, um problema modular poderia ser decidir em qual ponto dividir o sistema de trabalho em componentes para distribuição entre a subunidades compostas dentro dos limites da empresa ou terceirizar com unidades de organizações externas. Para um acadêmico, um problema modular poderia ser a escolha de unidades de análise apropriadas para examinar a arquitetura de um sistema de trabalho.</p> <p>A perspectiva modular representa uma mudança de foco na literatura do design organizacional, o qual passa de ajustes entre áreas funcionais para a análise das interdependências entre vários subsistemas de trabalho.</p> <p>Os autores propõem que na medida em que as empresas tornam-se mais hábeis em recombinar módulos de trabalho em configurações múltiplas, elas se capacitam para ir ao encontro de demandas heterogêneas com menos investimento do que quando os componentes de um sistema de trabalho</p>
--	--

	<p>estejam altamente interdependentes – quando integrados verticalmente [parece estar implícito a idéia de que as ligações modulares externas são ligações mais fracas do que módulos verticalmente integrados, por permitirem rearranjos mais adequados aos desafios de mudanças ambientais]. Fazendo referência à questão da terceirização como ‘integração virtual’, citam o caso da Dell Computer e de uma divisão da HP para produção de impressoras a jato de tinta. Mencionam que a transição para um modelo terceirizado altera os conjuntos de habilidades internas do seu pessoal, surgindo a necessidade de habilidades para administrar a cadeia de suprimentos, ou seja, habilidade de integradores alinhados com os consumidores final.</p> <p>(2) [Relacionado à divisão vertical do trabalho] Um problema de <i>hierarquia</i> de coordenação do trabalho e especificação da natureza de responsabilidade através de níveis hierárquicos dentro das unidades de uma organização ou em um <i>network</i>. Para um prático, este problema poderia ser reconhecer interdependências e ter claro o desempenho do trabalho através de níveis diferentes em uma hierarquia estabelecida. Para um acadêmico, o problema da hierarquia poderia ser o estudo de níveis-cruzados que afetam as escolhas das estruturas do trabalho.</p> <p>Argumenta-se também que: terceirização, contratos de relações, alianças estratégicas, e <i>networks</i> de cadeias de valor estão gradualmente transformando a maneira organizacional de se fazer o trabalho que costumava ser produzido dentro das organizações integradas verticalmente. O uso de funções cruzadas e métodos não hierárquicos de integração estão emergindo para coordenar módulos de estrutura de trabalhos que estão distribuídos dentro e entre as organizações. Ressaltam a importância da confiança nas relações contratuais.</p> <p>(3) [Relacionado à combinação da divisão vertical e horizontal do trabalho, em função do surgimento de redes de trabalho] Um problema de <i>network complexa</i> produzido por interações de divisões horizontais e verticais do trabalho e de responsabilidades, através de níveis hierárquicos e unidades dentro e entre organizações que representam os subsistemas (exemplo: componentes e módulos) de um sistema complexo de trabalho. Para um prático, um problema de <i>network</i> poderia ser de gerenciamento de múltiplas fontes de relacionamentos que constitui suas alianças de <i>network</i>. Para um acadêmico, o problema do <i>network</i> poderia ser a identificação dos padrões estruturais e de examinar as posições relativas e funções das empresas nestes <i>networks</i>.</p>
--	---

	<p>Os autores acreditam que análises de <i>networks</i> sociais são fontes de promissores insights e métodos para a posição estratégica das empresas nas estruturas de <i>network</i> de trabalho.</p> <p>Consideram que a ‘teoria da contingência’ era o referencial teórico relevante para tratar a questão do design organizacional até então. Mas, devido a certas limitações consideradas na aplicação da teoria da contingência, ponderam que existem um potencial nas novas perspectivas da ‘configuração’ e da ‘complexidade’, que julgam ser complementares, para tratar as mudanças atuais do trabalho no nível organizacional, dentro e entre as organizações.</p> <p>Por considerarem a teoria da contingência como o quadro de referência que tem influenciado a prática do design organizacional , entendem que ela fundamentou o modelo de 7S da McKinsey, o modelo de processamento de informação do Galbraith e o modelo de congruência de Nadler e Tushman, e atua até mesmo como fonte de informação para as perspectivas da configuração e da complexidade. Um aspecto comum nesses modelos era a proposição que o desempenho era alcançado pelo ajuste entre a demanda ambiental e o design de sua estrutura interna.</p> <p>Mas, conforme os autores, infelizmente a riqueza conceitual da teoria da contingência foi removida assim que os pesquisadores adotaram modelos simplistas nos seus estudos empíricos. Esse enfoque simplista está relacionado com considerar a análise organizacional apenas em um nível, o ajuste ser visto como um equilíbrio estático, a adoção de métodos reducionistas de análise e uma abordagem superficial de como o trabalho era realmente feito.</p> <p>Apresentam a ‘perspectiva da configuração’ como uma forma de conceber sistemas de trabalho como entidades holísticas. Essa perspectiva busca representar o todo, relacionando seus componentes de forma coerente. Tende-se a teorizar sobre tipos ideais de organização, desenvolvidos tanto conceitualmente quanto empiricamente.</p> <p>Consideram que a perspectiva da configuração examina de uma forma simultânea as muitas contingências, as estruturas alternativas e os critérios de desempenho inerentes à um sistema de trabalho. Mais do que tentar explicar a estrutura por seus elementos, a perspectiva da configuração tende a focar como o sistema de trabalho é estruturado em função das interações entre os seus elementos como um todo. E ainda, questiona se o alto desempenho da estrutura deve ser alcançado pelo ajuste externo com seu ambiente ou contexto, pois isso força tomadores de decisões a fazerem escolhas em diferentes graus na busca do equilíbrio entre o ambiente interno e externo.</p>
--	---

	<p>Considerando que sistemas de trabalho, localizados dentro e entre organizações, operam em contextos múltiplos e com contingências conflitantes, o artigo cita resultados de pesquisas em que o melhor desempenho organizacional foi alcançado quando manteve-se a consistência interna sacrificando o ajuste externo.</p> <p>Por admitirem que tanto os contextos ambientais quanto os contextos organizacionais são compostos por múltiplas dimensões parcialmente conflitantes e que organizações perseguem múltiplos objetivos, também parcialmente conflitantes, afirmam que deve-se reconhecer que raramente, ou nunca, poderá haver uma única estrutura ótima para um contexto ambiental específico.</p> <p>Sob a ‘perspectiva da complexidade’ consideram que as mudanças de estruturas de trabalho no tempo podem ser analisadas pela ótica de dinâmicas de sistemas. Consideram quatro padrões de dinâmicas que servem de base para análise de sistemas de trabalho [apresentados anteriormente na abordagem teórica da complexidade]. Afirmam haver poucos estudos de acadêmicos organizacionais para explorar a dinâmica não-linear de sistemas, que se enquadram em dois dos tipos apresentados – caótica e com equilíbrio intervalado [e que se supõe serem os relacionados com a perspectiva da complexidade].</p> <p>Afirmam que se alguém conclui que a mudança observada em um sistema de trabalho exibe um padrão de dinâmica não-linear então ele deve decidir como modelar o processo. Sugerem o modelo de Stuart Kauffman. Ao discorrerem sobre esse modelo afirmam que foi constatado que quando o número de inter-relações K é baixa comparado com o número de elementos N, ou seja existe baixa interdependência, a representação gráfica típica de <i>fitness landscape</i> tende a ter um único pico. Assim, concluem que baixa interdependência implica na situação em que pode-se procurar melhores práticas universais. Dessa forma configurações com módulos de trabalho que minimizam a interdependência entre eles resolvem o problema da coordenação às custas da diversidade. Quando aumenta a interdependência entre os elementos o cenário tende a ficar mais irregular, com diversos picos. Dessa forma existe a possibilidade de diferentes alternativas de configuração, com desempenhos equivalentes, mas às custas de imprevisibilidade do comportamento coletivo, em função dos elementos se afetarem mutuamente. Consideram que as idéias de co-evolução podem alterar a “topografia” dos cenários e as posições relativas dos elementos, que podem subir e descer ao longo do tempo, e que esse resultado tende a se assemelhar com a dinâmica de ‘equilíbrio</p>
--	--

	intervalado'. Mas que essas discussões relacionadas à co-evolução são ainda bastante especulativas pois existe pouca teoria e pesquisa a respeito.
7- Perspectiva futura da complexidade	Afirma que as idéias identificadas pela perspectiva da complexidade podem sugerir uma pauta de pesquisas em design organizacional.

Análise de conteúdo do artigo 5 - *Organization far from equilibrium: nonlinear change in Organizational Fields*

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	[não faz menção direta, mas fica subentendido a associação com sistemas longe do equilíbrio e com a dinâmica não-linear de sistemas adaptativos complexos (SACs)]
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	[não cita, foca SACs]
3- Evolução da complexidade	[nenhuma citação a respeito, mas explora a existência de uma ‘realidade linear geral’ (RLG) que deve ser alterada]
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>[O foco está voltado para <i>networks</i> de sistemas sociais] É defendida a idéia de uma perspectiva evolucionária, que está além de um modelo neo-Darwiniano, com base nos Sistemas Adaptativos Complexos (SAC), onde ordem pode emergir e persistir na ausência de um ponto fixo de equilíbrio.</p> <p>Consideram que o equilíbrio difundido pelos físicos newtonianos e sua matemática influenciaram a economia e a teoria organizacional. Isso faz com que seja esquecido que o equilíbrio é apenas uma ficção conveniente e não uma verdade literal.</p> <p>Com base em Andrew Abbott, consideram que os pressupostos de linearidade existentes no pensamento social formam uma “realidade linear geral” (RLG), a qual se baseia em modelos lineares para representar a realidade. Ainda em função de Abbott, apresentam seis suposições relacionadas ao pensamento linear: (1) <i>entidades fixas, com atributos mutáveis</i>, a RLG possui entidades estáveis que possuem atributos variáveis; (2) <i>fluxos causais ordenados</i>, interações entre atributos causam efeitos tal que, na RLG, pequenas coisas não podem gerar grandes coisas, assim como, efêmeros atributos não podem causar atributos permanentes; (3) <i>Significado claro</i>, dado um atributo é presumível haver uma e somente uma causa significativa, pelo menos no primeiro estudo; (4) <i>Seqüência irrelevante</i>, a ordem em que as coisas acontecem não influenciam o que vai acontecer no final; (5) ‘<i>Case-wise independente</i>, embora as independências sejam tratadas por meio de suposições estatísticas, também é suposto que os atributos de entidades sociais tendem a se agrupar em configurações ou arquétipos; (6) <i>Independência de contexto</i>, a causa significativa de um atributo não depende do seu contexto, tal que um efeito não muda quando as outras variáveis</p>

	<p>mudam em volta.</p> <p>Fazem referência a outros autores de artigos que consideram a evolução de populações organizacionais de forma descontínua como um mecanismo de ‘equilíbrio intervalado’.</p> <p>Consideram que organizações em condições hiper-turbulentas operam ‘longe do equilíbrio’.</p> <p>Ressaltam a necessidade de considerar a existência de co-evolução, a qual ocorre quando interações diretas ou indiretas de duas unidades em evolução [que podem ser organizações ou uma populações dessas] provocam uma resposta evolucionária em cada unidade [em um processo de interação mútua].</p> <p>Consideram os SACs como um poderoso modelo que oferece um conjunto de conceitos e ferramentas metodológicas para modelar interações não-lineares. Estabelecem como referência Philip Anderson [citando o artigo 1 do presente estudo] e seus quatro elementos que caracterizam os SACs: (1) ‘Agentes com esquemas’; (2) ‘Redes auto-organizadas sustentadas por importação de energia’; (3) ‘coevolução no limite do caos’; (4) ‘Evolução de sistemas baseado em recombinação’.</p> <p>Estabelecendo como referência os SACs para realizar uma de suas pesquisas os autores concluem que deve-se analisar todo o <i>network</i> e como ele se organiza, pois é sua própria dinâmica que transforma, cria e desenvolve os participantes de um setor emergente. Afirmam que tais comportamentos têm sido encontrados por cientistas da natureza e que leis básicas parecem ser igualmente aplicáveis à células, indústrias [setores] e sociedades [citam como referência Albert Barabasi e R. Albert]. Citam que Barabási & Albert afirmam que esses sistemas abrangem desde <i>networks</i> biológicos (ex. a interação da proteína das células do network) até o <i>networks</i> humanos (ex. the WWW = world wide web).</p> <p>Afirmam que a arquitetura do <i>network</i> de Barabási e Albert diferem profundamente daquele postulado pelos matemáticos Húngaros que pioneiramente fizeram a teoria do <i>network</i> [refere-se a Paul Erdos e Alfred Renyi, com a teoria de ‘grafos aleatórios’- pode-se entender como ‘redes aleatórias’- da década de 50], os quais tinham assumido que os laços do <i>network</i> se formavam aleatoriamente. Nas três décadas seguintes a maioria dos pesquisadores se esforçava para aplicar essa teoria em um mundo, incorporando sem reflexão esta suposição analítica em seus modelos analíticos. Esta visão de mundo aleatório presumiu que as “conexões ” do conjunto de nódulos do <i>network</i> seria normalmente distribuída. Isto é, como</p>
--	--

	<p>muitos outros fenômenos naturais, as medidas de conexões eram esperadas que se agrupassem ao redor de uma porcentagem, produzindo uma familiar curva do sino da distribuição. Ao contrário, a distribuição das conexões de <i>network</i> observada por Barabási e seus colegas são imprecisões descontroladas, conforme a distribuições exponenciais denominadas de “leis de potência” [típica curva relacionada à $1/f$], e são estruturadas de acordo com dois princípios de organização: “<i>hubs</i>” e “conectores”. Nas leis de potência faltam os picos com quedas simétricas das distribuições normais. Assim, tais <i>networks</i> consistem de um número relativamente pequeno de <i>hubs</i> (nódulos com muitas e muitas ligações), junto com muitos outros nódulos distantes que quase não têm qualquer ligação com o todo. Citam que Barabási chama estas <i>networks</i> de ‘escala-livre’⁸⁴ [<i>scale-free</i>], e ainda, que ele considerou que <i>hubs</i> emergem através ‘conexões preferenciais’, que seria um processo não linear partindo de um feedback positivo dentro de sistemas se auto-organizando, tal que nódulos com muitos nós são mais prováveis de atrair novos nós. Assim, logo se formam clusters [de nós] densamente conectados ao redor dos <i>hubs</i>. A segunda característica chave da topologia de <i>network</i> de escala-livre, refere-se à ‘conectores’, que são nódulos que ligam diferentes clusters isolados, criando o fenômeno [já caracterizado anteriormente] de “pequenos mundos”⁸⁵ (<i>small worlds</i>), o qual foi formalizado por Watts e Strogatz.</p> <p>Os autores descreveram mudanças não lineares como choques, funções de etapas, oscilações e emergência. Citam que outros têm usado os termos: pontos críticos (<i>turning points</i>) (Abbott 2001) [ou de mutação, nos termos de Capra, 1995], pontos limítrofes (<i>thresholds</i>); pontos de mudança [ou de desequilíbrio] (<i>tipping points</i>) (Granovetter 1978 [referência bibliográfica do artigo dos autores]) [e Gladwell, 2002]; transição de fase (Prigogine & Stengers 1984 [no presente trabalho o mesmo livro citado possui referência bibliográfica com edição de 1997]); retornos crescentes (Arthur 1989 [referência bibliográfica do artigo dos autores]), e <i>network</i> externo (Katz & Shapiro 1985 [referência bibliográfica do artigo dos autores]).</p>
5- Principais termos	<p>Evolução; Sistemas Adaptativos Complexos (SAC); Equilíbrio intervalado; Longe do equilíbrio; Co-evolução; Interações; Agentes com esquemas; Importação de energia; Redes auto-organizadas; Limite do caos;</p>

⁸⁴ Ou livre de escala .

⁸⁵ Ou ‘mundo pequeno’, que sugere que, em certos tipos de *networks*, cada nó ou agente está muito menos distante de qualquer outro do que nosso senso comum pode imaginar.

relacionados à complexidade	Recombinação; <i>Network</i> ; Conexões; Conexões preferenciais; <i>Networks</i> de escala - livre; leis de potência [típica curva relacionada à $1/f$]; <i>hubs</i> ; Conectores; auto-organização; Não-linearidade; Feedback positivo; Clusters; Pequenos mundos (<i>small worlds</i>); Emergência; Abordagem em multi-nível; <i>Network bottom-up</i> ; processo auto-catalítico;
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>Os autores consideram que em função de pesquisas relacionadas ao campo⁸⁶ organizacional em fluxo, o conceito de ‘adaptação’ é improdutivo em sistemas organizacionais não lineares. Ou seja, quando existem mudanças descontinuadas não existe equilíbrio a ser visto.</p> <p>Afirmam que apesar de se saber que o equilíbrio econômico é uma condição fictícia, essa perspectiva possibilita que os problemas econômicos sejam formulados pela matemática newtoniana. E ainda, que tal abordagem é muita difundida nas teorias sociais⁸⁷, tal que mesmo cientistas sociais que rejeitam a idéia econômica que seres humanos buscam racionalmente maximização de seus ganhos, eles raramente desafiam o pressuposto do equilíbrio.</p> <p>Baseado em uma de suas pesquisas, os autores apresentam três conclusões sobre choques organizacionais causados por mudanças ambientais [choques podem ser associados ao equilíbrio intervalado]: (1) expõem a capacidade de se compartilhar crenças e ideologias [no sentido de questionamento dessa capacidade]; (2) criam oportunidades clandestinas de mudança, rompendo programas em andamento, energizando e mobilizando defensores para mudança e legitimando movimentos não ortodoxos; (3) oferecem momentos de aprendizado para as organizações..</p> <p>E ainda, os autores consideram a necessidade de se rever certos aspectos na forma de realizar pesquisas. Em função de uma pesquisa organizacional em um campo considerado hiper-turbulento, onde organizações foram consideradas longe do equilíbrio, apresentam três lições aprendidas: (1) Identificou-se o aspecto salientado da natureza multi-nível do processo de mudança. Apesar do estudo ter partido da organização como unidade de análise, foi necessário adicionar a indústria [setor e as alterações de suas fronteiras] e o <i>network</i> inter-organizacional [envolvendo ações colaborativas e até acordos secretos] como unidades de análise. Onde foram identificadas diferentes dinâmicas de mudança, mas que se influenciam mutuamente; (2) Apresentaram-se novas perspectivas sobre relações causais e níveis de análise. Na RLG presume-se que pequenas coisas não podem causar grandes</p>

⁸⁶ O conceito de ‘campo’ está relacionado com questões institucionalizadas em um determinado setor industrial, onde aspectos inter e supra-organizacionais modelam as práticas organizacionais.

⁸⁷ Citam que Herbert Simon definiu uma organização como um sistema que pode existir somente quando persuasão e contribuições estiverem em equilíbrio.

	<p>efeitos e que coisas pequenas mudam mais rápido que as grandes. Assim, era de se esperar que indivíduos mudem mais rápido que organizações, que organizações mudem mais rápido do que as populações das quais elas fazem parte, e que essas populações mudem mais rápido do que o ambiente ecológico que elas habitam. Entretanto o estudo dos autores demonstrou que essa lógica linear não é imutável e quando as organizações estão longe do equilíbrio, mudanças em um nível podem ter taxas superiores que os níveis mais baixos ou mais altos. Assim, mudanças não-lineares [constatadas na pesquisa realizada em ambientes turbulentos] podem dificultar o entendimento dos pesquisadores; (3) Os resultados do estudo ensinaram que mudanças não-lineares criaram ações coletivas. A principal manifestação foram as <i>networks</i> inter-organizacionais.</p> <p>Também constataram que comunidades organizacionais podem ser transformadas por processos internos de baixo para cima e não apenas por fatores externos como normalmente é atribuído.</p> <p>Concluem que, no mínimo em campos oscilantes, a dinâmica central de mudança no nível de comunidade [de organizações] não é uma adaptação na busca de uma adequação ótima, mas um processo co-evolucionário mais complexo.</p> <p>Procuraram utilizar os princípios de SAC [basseado em Anderson], em conjunto com a teoria de estruturação de campo [citando como referência Giddens, DiMaggo, Powell e Scott] para condução de uma nova pesquisa sobre o surgimento do campo organizacional da nanotecnologia, o qual foi considerado como setor emergente [no sentido mercadológico e não tecnológico].</p> <p>Citam que no acompanhamento desse setor desde 2000 identificaram a ‘recombinação’, característica típica de SACs, observando o movimento de entrada de organizações dissidentes dos setores ponto.com e telecomunicações.</p> <p>Afirmam que análise de <i>network</i> sociais é uma técnica bem estabelecida na ciência organizacional, entretanto os estudos iniciais de <i>network</i> assumiram a RLG antecipando o equilíbrio. Com isso, pesquisadores evitaram a emergência e focaram seus estudos em grupos, organizações ou campos bem estabelecidos. Assim, evitaram a dinâmica, considerando a estrutura das <i>networks</i> em um simples ponto do tempo.</p> <p>Baseados na literatura da ciência organizacional, identificou-se que o foco das pesquisas tem sido as <i>organizações em network</i>, e não em <i>networks se organizando</i> . No melhor dos casos, descobertas a partir destes estudos</p>
--	---

	<p>oferecem uma introspecção em como as alianças estabelecidas por empresas bem-conhecidas são associadas ao desempenho. Mas eles foram irrelevantes para o processo de formação do <i>network</i> em andamento na nanotecnologia. Neste setor, os novos negócios de <i>nanotech</i> não construíram um <i>network</i> de aliança – o estabelecimento de <i>networks</i> de aliança é que construíram novos negócios. Assim, concluem, que para o estudo do <i>network</i> como um todo a literatura organizacional oferece pouca orientação.</p> <p>Afirmam que cientistas físicos reportaram que uma variedade de sistemas complexos participam da mesma arquitetura fundamental, regulados por leis básicas que parecem igualmente aplicáveis as células, computadores, indústrias, e sociedades.</p> <p>Com base nos conceitos de ‘<i>network</i> de escala-livre’ [de Barabási e Albert] e ‘pequenos mundos’ [de Watts e Strogaz], os autores estão abordando, em sua pesquisa no setor de nanotecnologia [em andamento], a comunidade de investimento desse setor como um SAC, e afirmam que suas análises iniciais sustentam essa hipótese.</p> <p>Assim, reforçam sua convicção que: (1) pesquisas podem ser realizadas sem suposições de RLG, e ainda, que rigor em pesquisa não demanda modelos lineares determinísticos ou estatísticas descrevendo tendências centrais; (2) análises em multi-níveis são importantes; (3) unindo a modelagem de SAC com a perspectiva de estruturação surgem dicas a respeito das ligações micro-macro entre a ação individual e estrutura social. Assim, o <i>network</i> de investimento em nanotecnologia parece estar se formando em um estilo inerentemente não linear, de baixo para cima [<i>bottom-up</i>] e de forma auto-catalítica. Sua arquitetura de ‘escala-livre’ está se consolidando espontaneamente, como uma consequência não pretendida das ações e interações de uma multidão de agentes humanos perseguindo um amplo agrupamento de indivíduos e projetos de estruturação no nível organizacional; (4) Finalmente, o estudo do <i>network</i> sugere que, na ausência de equilíbrio, observar os ‘<i>outliers</i>’ pode ser mais informativo do que observar a média ou entidades típicas.</p> <p>Os autores argumentam que apesar de pesquisar sem um modelo detalhado para análise ser um tanto quanto enervante, as lições aprendidas nas pesquisas anteriores fortalecem essa resolução. Elas ensinaram que quando estuda-se campos longe do equilíbrio os modelos de pesquisas precisam ser desenvolvidos de forma evolutiva e não planejados.</p> <p>Consideram que a influência dos conhecimentos em economia, os quais levaram à uma completa imersão no modelo de equilíbrio geral, pode em</p>
--	--

	<p>parte explicar a lenta ascensão da curva do aprendizado em desenvolver modelos para sistemas longe do equilíbrio e suspeitam que se evita fazer perguntas a respeito de sistemas sociais distante do equilíbrio porque estas violam os dogmas sobre metodologias rigorosas.</p> <p>A pesquisa atual dos autores, que leva em consideração conhecimentos em SAC, ensinou que a ordem em um sistema não requer ou implica equilíbrio porque os sistemas podem exibir comportamentos auto-organizados e evoluir naturalmente na direção da ordem sem nunca alcançar um estado estabilizado.</p> <p>Os autores consideram que muitos acadêmicos excluam a interação não-linear para proteger suas suposições de equilíbrio e alcancem o controle analítico. Esperam, que ao contar as experiências vividas por eles ajudem outros a perceberem o desequilíbrio e a mudança não-linear como natural e em curso, mais do que como excepcional e eventual.</p> <p>Concluem, com base em suas pesquisas, apresentando 7 recomendações para a teoria e pesquisa organizacional de campos em fluxo [dinâmico]: (1) Leve o tempo a sério [no sentido histórico]; (2) Conduza pesquisas históricas; (3) Trate as estruturas de pesquisas como protótipos experimentais; (4) Incorpore conceitos não-lineares em teorias evolucionárias; (5) Projete pesquisa em multi-níveis; (6) Estude sistemas em fluxo; (7) Estude [reveja] seu livro-guia de pesquisa e verifique sua bagagem de conhecimentos.</p>
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Afirmam que a intenção não é invalidar as análises com base na RLG, mas completá-las. A ordem pode emergir a partir de ambos processos lineares e não lineares, e persistir em ambos estados de equilíbrio e desequilíbrio.</p> <p>Acreditam que suposições não-lineares e modelos de SACs não servem para todos problemas de pesquisa, mas acreditam que novas perspectivas envolvendo não-linearidade e desequilíbrio possam ajudar o campo começar a mapear eventos tumultuados que não foram possíveis de serem tratados dentro da perspectiva do RLG que tem dominado o estudo dos sistemas sociais.</p>

APÊNDICE B

ANÁLISE DE CONTEÚDO DA TESE E DISSERTAÇÃO

Análise de conteúdo da Tese: Modelo de gestão não linear: A teoria do caos e complexidade aplicada a gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	Em um momento define teoria do caos e complexidade conjuntamente como: ‘estudo dos comportamentos instáveis e não-periódicos dos chamados sistemas dinâmicos determinísticos’ [que se trata de uma definição clássica da teoria do caos, apenas]. Em outro momento afirma que a complexidade é complementar ao estudo do caos e estabelece características diferenciadas associadas a cada tema [ver nessa tabela o item 4: abordagem teórica da complexidade]. Fica implícito que a complexidade está relacionada à fenômenos não lineares, assim como a teoria dos caos.
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	Faz referência à ‘complexidade’.
3- Evolução da complexidade	<p>Considera a teoria do caos e a complexidade oriundas da física e da biologia [apesar de valorizar a teoria do caos, parece não considerar o seu desenvolvimento associado ao campo da matemática; quanto à ‘complexidade’, apesar de citar o <i>Santa Fe institute</i>, parece não ter se aprofundado nas contribuições relacionadas à modelagem computacional utilizando autônomos celulares ou algoritmos genéticos]</p> <p>Aborda o surgimento da complexidade dentro da evolução de modelos de gestão, utilizando como referencial a proposta de Morgan, que organiza as escolas clássicas do pensamento administrativo – do início do séc. XX até meados dos anos 70 – em dois grandes grupos: modelo de gestão mecanicista e modelo de gestão orgânico⁸⁸ [apesar de Morgan apresentar outras imagens da organização sem uma relação direta com as escolas clássicas]. O trabalho apresenta a idéia complementar que a partir dos anos setenta consolidou-se o desenvolvimento de um modelo de gestão estratégica [é possível que tal pensamento esteja fundamentado na argumentação de Pascale, no seu artigo ‘surfando à beira do caos’, que é utilizado como referência na tese - in Cusumano e Markides, 2002, p.111 e 112]. Considera que todas essas propostas anteriores partem de uma visão de sistemas lineares e que no momento</p>

⁸⁸ Na proposta, o modelo de gestão mecanicista inclui: as teorias da administração científica, da burocracia e clássica. Já o modelo orgânico, inclui: as teorias comportamentais, de sistemas, da contingência e da ecologia populacional.

	está se consolidando a necessidade de modelos de gestão não-linear – baseado na teoria do caos e complexidade.
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>Surge como alternativa ao pensamento linear⁸⁹, ou seja, envolve características de dinâmicas não-linear.</p> <p>Apesar de tratar em algum momento a teoria do caos e a complexidade dentro de uma mesma natureza de sistema, em outro momento faz a seguinte diferenciação de características associadas à cada tema:</p> <p><u>Caos</u> - (utiliza principalmente como referencial teórico: Gleiser e Gleick) envolve feedback negativo e positivo; obedece à ‘equações logísticas’⁹⁰ [que envolve não-linearidade]; existe dependência sensível às condições iniciais; existem níveis críticos de uma ou mais variáveis [que seria a criticalidade auto-organizada que obedece às leis de potência]; é representado por espaço de fase [afirmando que é a forma mais importante de se estudar sistemas complexos]; ao ser representado por espaços de fase surgem formas denominadas de ‘atratores’ que descrevem a dinâmica do sistema em situação de regime, que no caso de sistemas caóticos os atratores são classificados como caóticos ou estranhos; apresenta a idéia de geometria fractal, classificando-a como ordem existente em sistemas aparentemente caóticos.</p> <p><u>Complexidade</u> – (utiliza principalmente como referencial teórico: Anderson, Pascale, Gleiser, Kauffman, Prigogine, Maturana e Varela) está citada como associada aos estudos de Sistemas Adaptativos Complexos (SAC) realizados pelo <i>Santa Fe Institute</i> os quais apresentam as seguintes propriedades: apresenta propriedades emergentes a partir de interações locais dos agentes [afirma ser necessário métodos de análises não reducionistas], envolvendo então, um modelo de múltiplos níveis; envolve a capacidade de auto-organização, tipicamente observada em organismos vivos, a qual é considerada um ‘tipo especial de propriedade emergente’ [? - parece haver uma confusão com o conceito, pois a auto-organização deve ser entendida como uma propriedade que gera emergência e não uma propriedade emergente em si, por ela ser um meio, ou um mecanismo, e não um fim, tanto que o autor também afirma em outro momento ser a emergência um <i>output</i> resultante das interações locais,]; quando em desequilíbrio com o ambiente assumem estados de equilíbrio dinâmico, na direção do limite do caos,</p>

⁸⁹ É caracterizado por enxergar os sistemas com dinâmicas lineares, onde existem simples relações de causa e efeito, de tal forma que o planejamento e controle é governado por feedbacks negativos para se manter os sistemas dentro do equilíbrio planejado.

⁹⁰ Na tese, a equação logística se refere principalmente às observações do biólogo matemático Robert May sobre o estudo do crescimento e decadência de populações animais. Mas, este foi um divulgador explorador, através de um artigo publicado em 1976, das idéias de um precursor pouco conhecido e criador da ‘função logística’ aplicada a evolução populacional: Pierre François Verhulst (1804-1849) (baseado em Bergé, Pomeau e Dubois-Gance, 1996, p.66 a 68, e Monteiro, 2002, p.334).

	<p>onde os agentes do sistemas buscam se ajustar e co-evoluir [aqui está implícito um determinismo ambiental, que pode ser julgado como uma abordagem insuficiente para considerar a dinâmica em SACs], a frequência e a amplitude das mudanças obedecem às leis de potência [a qual parece não relacionar com os níveis críticos que caracterizou no caos].</p> <p>À parte da teoria do caos e da complexidade apresenta o conceito de ‘autopoiesis’, ou ‘autopoiese’ [de forma um tanto solta na organização do trabalho], que está relacionado a capacidade de auto-reprodução de seres vivos e é considerado no trabalho como um desafio ao entendimento clássico de que o meio determina as mudanças do sistema, sendo o meio então, apenas um desencadeador da mudança que também é afetado pelas mudanças do sistema [supõe-se que autopoiese seja um importante conceito que deve ser associado à dinâmica não-linear, que é o interesse central do trabalho. Entretanto, por Varela e Maturana, autores do conceito de autopoiese, não estarem vinculados aos grupos de pesquisadores ‘clássicos’ do caos e de SAC, percebe-se a dificuldade de enquadrar essa contribuição em uma organização mais geral de conceitos relacionados à complexidade e o caos. Em certo momento após definição operacional do conceito, identificou-se que, inadvertidamente, refere-se à autopoiese como um processo da teoria do caos e complexidade].</p> <p>Apresenta alguns poucos pensamentos de Edgar Morin sobre a complexidade, associados à dinâmica da auto-organização.</p> <p>Cita a contribuição de um autor que considera as organizações como estruturas dissipativas, com base nos trabalhos de Prigogine, mas explora essa contribuição dentro da auto-organização espontânea, relacionada à complexidade.</p> <p>Na tese são realizadas afirmações conclusivas sobre a teoria do caos e complexidade que podem estar envolvidas em interpretações precipitadas, relativa a casos especiais e não regras gerais, ou que ainda envolvem profundas discussões científicas e filosóficas, sendo assim, por cautela deveriam ser mais fundamentadas. As afirmações em questão são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ “A aparente desordem e caos são, na realidade, fruto da ignorância humana sobre o efeito do conjunto de variáveis agindo sobre o sistema, desde que não haja a ocorrência de aleatoriedade e do inusitado [?]”. ▪ “[...] quando as interações entre um grande número de agentes envolvem seqüências de feedbacks positivos, algumas regras de comportamento se reforçam, eliminando outras. Desse modo, os agentes ficam presos em um ciclo de auto-reforço positivo, que origina um comportamento coletivo previsível [?].
--	--

<p>5- Principais termos relacionados à complexidade</p>	<p>Com relação a essa publicação, devido a organização apresentada, considera-se conveniente identificar os termos que surgiram com base nos (1) fundamentos científicos da teoria do caos e complexidade, e os que surgiram complementarmente devido a (2) aplicação no campo organizacional:</p> <p>(1) Termos com base nos fundamentos científicos:</p> <p>Teoria do caos; complexidade; comportamentos instáveis e não-periódicos; sistemas dinâmicos determinísticos; feedback negativo e positivo; equações logísticas [ou funções logísticas]; não-linearidade; dependência sensível às condições iniciais; níveis críticos [criticalidade auto-organizada]; espaço de fase; sistemas complexos; atratores; atratores estranhos; dinâmica do sistema; fractal; Sistemas Adaptativos Complexos (SAC); interações; agentes; múltiplos níveis; auto-organização; propriedades emergentes – emergência; equilíbrio dinâmico; limite do caos; co-evolução; leis de potência; autopoiese.</p> <p>(2) Termos com base na aplicação no campo organizacional:</p> <p>Regras simples; metáforas; intuição; autonomia; auto-organização de equipes; negociação; redundância; cooperação; diversidade; caos criativo; senso de urgência; ambigüidades; flexibilidade estratégica; estruturas dissipativas; distúrbio do equilíbrio; <i>patching</i>; inovação; mecanismos mais descentralizados; especificações mínimas.</p>
<p>6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão</p>	<p>Considera as organizações como sistemas não-lineares, devido à complexidade das relações entre os indivíduos [utiliza uma representação esquemática proposta por Parker e Stacey – identificado na bibliografia de Parker e Stacey, 1995, p.25].</p> <p>Também apresenta uma referência de aplicação de modelagem do comportamento dinâmico das variáveis de vendas e lucros, as quais podem apresentar diferentes atratores que podem ser, inclusive caóticos [para tanto utiliza o modelo teórico de Priesmeyer (1992), um dos poucos livros com proposições diretas de aplicação da teoria dos caos sobre variáveis organizacionais mensuráveis de diversas áreas funcionais: marketing, finanças, produção e recursos humanos].</p> <p>Apresenta a proposta de um modelo de gestão não-linear, o qual foi desenvolvido utilizando-se abordagens consideradas não-lineares para os diversos componentes e subsistemas adotados como referência para representar o sistema organizacional.</p> <p>O quadro elaborado pelo autor, apresentando as características de um modelo de gestão não-linear está apresentado na figura a seguir:</p>

Fig. : Quadro de modelo de gestão linear de Anselmo, 2005.

Modelo de gestão não-linear		
Componentes e subsistemas		Características, princípios e técnicas
Ambiente		Dinâmico e imprevisível
Fronteiras (limites da organização)		Mal definidas e dinâmicas, com múltiplas relações
Recursos		Ênfase nos recursos intangíveis
Capacidades centrais		Capacidades dinâmicas, construídas para aproveitar oportunidades de mercado
Subsistema estratégico	Inputs ao processo estratégico	Mudanças/oportunidades inesperadas do ambiente
	Processo estratégico	Pouco estruturado, equilibrando a visão de cima para baixo e de baixo para cima
	Tipos de estratégias	Estratégias como regras simples
Subsistema técnico-inovativo	Inputs ao processo inovativo	Mudanças inesperadas do ambiente ou tensão deliberadamente introduzida pela gerência
	Processo de inovação	Processo espontâneo, por improvisação criativa
	Output do processo	Novos produtos e processos, buscando aproveitar janelas de oportunidades
Subsistema técnico-produtivo	Inputs ao processo produtivo	Insumos variados
	Métodos e processos produtivos	Modelos flexíveis e de redes
	Outputs do processo produtivo	Produtos variados, associados a oportunidades
Subsistema estrutural	Estrutura organizacional	Pequenas células dinâmicas (<i>patches</i>) de negócios
	Regras/políticas organizacionais	Simples e gerais
	Cargos e tarefas	Escopo amplo e por multicompetências
Subsistema social	Processo de comunicação	Descentralizado e virtual
	Sistema de poder	Exercido de forma consentida, e baseado em valores de cooperação e confiança
	Estilo de liderança	Liderança transformacional, baseada em valores
	Motivação e recompensa	Automotivação individual e das equipes
	Crenças e valores (cultura)	Cultura aberta e cooperativa
Subsistema gerencial	Natureza geral	Descentralizado, participativo e com autonomia
	Indicadores de desempenho	Flexíveis e voltados para a criação de valor
	Processo de controle	Autocontrole dos indivíduos e equipes
	Resolução de conflitos	Convívio com a dialética e o conflito
	Gerenciamento de mudanças	Mudanças contínuas, por fatores de atração

Com relação ao 'subsistema estratégico', explora as idéias de Stacey, de Brown e Eisenhardt, e de Eisenhardt e Sull, visualizando as estratégias como regras simples que podem surgir como um processo emergente não estruturado de aprendizagem, voltadas para aproveitamento de oportunidades.

Com relação ao 'subsistema técnico inovativo', além das idéias de autores citados anteriormente, inclui contribuições de Nonaka e Takeuchi. Envolve questões como uso de metáforas, intuição, autonomia, auto-organização de equipes, autopoiese, negociação, redundância, cooperação, diversidade e caos criativo provocado por senso de urgência ou ambigüidades apresentadas pela gerência.

Com relação ao 'subsistema técnico produtivo' a referência utilizada é Ron Sanchez e Ruben Bauer. Tomando como referência o primeiro autor, a tese ressalta a importância do uso 'sistemas flexíveis de manufatura' para alcançar a flexibilidade estratégica [o que parece uma interpretação errônea pois esses sistemas não são tão flexíveis assim como o nome indica⁹¹, talvez a argumentação mais adequada fosse

⁹¹ "Qualquer conjunto de máquinas em um FMS (*flexible manufacturing system*) tem limitações no tamanho e forma dos materiais que pode processar. A implicação disso é que os FMS são mais bem adaptados para aplicações de manufatura onde os projetos das peças são basicamente similares e ainda cujos tamanhos de lote devam ser pequenos [...] Os FMS podem ser mais flexíveis do que qualquer

	<p>com base no uso de ‘sistemas modulares de produção’, cujo autor citado tem publicação à respeito]. Fundamentado em Bauer utiliza-se de um estudo de caso que afirma ilustrar a aplicação da teoria do caos, o qual cita uma empresa mexicana que adotou uma forma de distribuição logística de cimento com base em uma programação <i>on-line</i> [que poderia ser entendida como auto-organizada], orientada pela demanda imediata e posições dos caminhões no momento da solicitação [não se percebeu o aproveitamento conceitual dessa questão na tabela do modelo de gestão não linear, exceto pelo uso da palavra flexível, assim como, a sugestão de ‘redes’ como método e processo produtivo aparece sem muita fundamentação nessa área].</p> <p>Com relação ao 'subsistema estrutural', utilizando como referência Newmann Jr, afirma que esse autor ao discutir a aplicação da teoria do caos considera as organizações como estruturas dissipativas [fazendo referência à Prigogine] e, entre alguns princípios que esse autor sugere para estruturar as organizações, cita a necessidade de “desenvolver uma declaração da visão” [que vai contra a perspectiva de não se fazer projeção de futuro para sistemas complexos, muito bem defendida por Stacey, que é também uma das referências da tese]. Também utiliza como referência Pascale e seu estudo de caso da Shell, que segundo o autor da tese utiliza a teoria do caos e a complexidade para explicar as mudanças organizacionais ocorridas. Mudanças essas que envolveram ‘distúrbio do equilíbrio’ (devido à um programa de descentralização organizacional) e ‘auto-organização espontânea’ (quando a alta direção definiu apenas diretrizes gerais para os negócios, permitindo que os níveis regionais e locais encontrassem os caminhos para atuarem em seus mercados). Ainda abordando a questão estrutural, utiliza também a proposta de Eisenhardt e Brown de se utilizar um processo contínuo de rearranjo [denominado pelos autores de <i>patching</i> – remendar], que o autor da tese defende como uma representação da dimensão fractal e do processo de autopoiese.</p> <p>Com relação ao 'subsistema social' uma referência é Stacey que aborda esta questão sob a perspectiva de sistema político, com base nas dimensões de poder e cultura. Apresenta-se um modelo que estabelece a existência de quatro estados de equilíbrio desse subsistema, sendo que o sucesso para lidar com ambientes turbulentos é manter o sistema longe desses quatro equilíbrios [é interessante observar que Stacey (1995, p. 335 a 340) ao apresentar esse modelo, considera que a existência de valores fortemente compartilhados é uma condição favorável, não desejada, para alcançar um estado de equilíbrio]. Outra referência para também tratar o subsistema social, pela ótica da teoria do caos e complexidade, é Dolan. Esse autor considera</p>
--	--

que em ambientes turbulentos há a necessidade de se orientar segundo determinados princípios que envolvem, entre outras coisas, explorar condições caóticas, adotar regras simples e auto-organizar. Ainda com base em Dolan considera que a filosofia gerencial evoluiu em três estágios: (1) gerenciamento por instrução; (2) gerenciamento por objetivos e mais recentemente para (3) gerenciamento baseado em valores, o qual é visto como um atrator caótico [mas que contradiz uma das idéias associadas ao modelo anterior de Stacey para tratar o mesmo assunto]. Tendo isso ocorrido em função de tendências associadas à crescente complexidade e incerteza nas empresas, tal que o gerenciamento baseado em valores permitiria às organizações a auto-organização e a adaptação. Afirma-se que Dolan classifica os valores em dois tipos: valores finais, que estão relacionados com objetivos existenciais da organização, e valores instrumentais, que são subdivididos em valores éticos e valores de competências, sendo que esses últimos podem ser ainda de controle ou desenvolvimento. A figura abaixo apresentada na tese ilustra essa situação:

Fig.: Valores como atrator caótica de Anselmo, 2005.

Finalizando a abordagem dada ao subsistema social, também não se consegue perceber como suficiente a fundamentação apresentada para justificar os parâmetros estabelecidos na tabela com o modelo de gestão não-linear proposto.

Com relação ao subsistema gerencial, que é considerado com um meta-subsistema que gerencia os demais e o processo de mudança, a primeira referência é Parker e Stacey. Com base nessa referência argumenta-se sobre a necessidade dos processos gerenciais combinarem: feedbacks negativos e positivos, eficiência de curto prazo com eficácia de longo prazo, estratégias simples e valores comuns [parece haver

	<p>uma interpretação equivocada quando à considerar adequado a ‘estabilização de valores comuns’, pois os autores advogam que o compartilhamento de valores comuns pode impedir a criatividade (baseado nos próprios Parker e Stacey, 1995, p.73)], e ainda, propiciar técnicas e princípios que permita a emergência de criatividade e inovação, por mecanismos mais descentralizados e auto-organizados. Também apresenta idéias de Morgan para explorar a gestão de mudanças sob a ótica do caos e da complexidade, que defende a criação de contextos para ocorrência da auto-organização, não impondo demasiado controle sobre o processo de mudança e estabelecendo especificações mínimas que configurem padrões de atração, tal como os atratores da teoria do caos, criando sempre novos contextos para quebrar os padrões de atração existentes em favor de novos padrões de atração. E, ainda, utiliza Mintzberg e Westley para ilustrar também a importância de conduzir processos de mudança sem uma diretriz de ‘pulso forte’ de controle. Considerando as características do sistema de gestão não linear proposto, o trabalho da tese inclui uma pesquisa de campo que procurou identificar em empresas concorrentes, em diferentes setores, o grau de alinhamento da gestão dessas com esse modelo de gestão não-linear e com os demais modelos (gestão mecanicista, gestão orgânica e gestão estratégica), e a relação com o desempenho dessas empresas concorrentes, medido pelo volume de vendas. As principais conclusões foram:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empresas concorrentes diretas que operam em mercados dinâmicos apresentam diferentes graus de ajustamento ao modelo de gestão não-linear proposto; ▪ As empresas mais ajustadas ao modelo de gestão não-linear proposto apresentaram melhor desempenho – medido pelo crescimento de venda; ▪ Um fator desafiador, e que pode ser limitante da pesquisa, está relacionado à apropriação de conceitos da dinâmica de sistemas físicos e biológicos para a área organizacional.
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Sugere questões, método e temas para novas pesquisas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Que variáveis poderiam explicar os estados possíveis para descrever uma empresa? Como identificar os limites desses estados possíveis? Que variáveis do modelo de gestão poderiam explicar a limitação desses estados possíveis? ▪ Poderia se realizar estudos setoriais quantitativos, utilizando técnicas de estatísticas multivariada. ▪ Poderia se desenvolver uma linha de pesquisa voltada para clusters, com intuito de explicar a sua auto-organização. ▪ Poderia se desenvolver uma linha de pesquisa voltada para identificar a

	<p>ocorrência de caos e atratores estranhos nas empresas, baseado em series temporais de certas variáveis organizacionais.</p> <p>Finaliza-se a tese considerando que os ambientes no futuro se tornarão mais imprevisíveis, o que torna o aprofundamento nesses estudos [no caso, teoria do caos e complexidade] um caminho válido para os pesquisadores no campo da administração.</p>
--	--

Análise de conteúdo da dissertação: a organização de trabalho em grupos sob a perspectiva da complexidade – estudo de caso.

Tópico	Avaliação
1- Definição da complexidade	Associada à fenômenos não-lineares e dependentes de múltiplas variáveis, que se relacionam de forma imprevisível em sua totalidade. Considera um sistema complexo aquele que é difícil, senão impossível, estudar suas propriedades globais a partir da análise de um número restrito de seus componentes. Surge a denominação de ‘sistemas complexos’ associada à idéia de muitas partes interagindo de forma não-linear.
2- Referência à uma "teoria da complexidade"	Faz inicialmente referência à “perspectiva da complexidade”. Depois cita “princípios do pensamento complexo” e na seqüência afirma que se utilizará de premissas da “teoria da complexidade”. Faz citações, também, referindo-se apenas à “complexidade” como forma de pensar.
3- Evolução da complexidade	<p>Estabelece inicialmente a relação da complexidade com a evolução da administração, para tanto utiliza como referência Bauer, apresentado três estágios evolutivos do pensamento sobre fenômenos organizacionais: mecanicista, organicista [o qual inclui, no texto mais a frente, a teoria de sistemas] e o atual, que se baseia em uma circularidade recursiva produzindo a emergência de comportamentos complexos não lineares. Considera que nesse último estágio evolutivo não há ambição de um modelo único, mas sim de modelos evolutivos e flexíveis, onde se encaixa a proposta de grupos semi-autônomos.</p> <p>Afirma que uma primeira aproximação da perspectiva da complexidade é tratada na psicologia organizacional, desenvolvida na teoria de sistemas. A autora conclui na seqüência que teoria de sistemas e a teoria da complexidade são resultados de um processo evolutivo.</p> <p>Ao abordar a teoria de sistemas afirma que esta estabelecia a visão da organização como um organismo vivo, mas as teorias organizacionais desenvolvidas segundo esse preceito teriam ainda uma forma reducionista de entender as organizações e sua dinâmica. Utiliza-se de citações de Morgan e Morin para realizar críticas à teoria de sistemas.</p> <p>Em outro momento afirma que: “têm sido difundidos quatro tipos de mudanças organizacionais” [mas na organização do trabalho não se tem clareza dessas mudanças]. Na seqüência explora-se, dentro de uma perspectiva evolutiva, a visão clássica de administração, tomando como referência Taylor e a Administração Científica. Em seguida considera que a escola de Relações Humanas surge para chamar atenção dos aspectos humanos do trabalho, mas</p>

	<p>que não provoca mudança na lógica da produtividade Taylorista [afirma que essa corrente de pensamento das relações humanas é desenvolvida por Herzberg, Agrys e Maslow, o que parece inadequado pois as principais contribuições desses autores ocorrem posteriormente ao movimento das relações humanas e estão mais associadas à escola comportamental]. Depois explora a proposta da escola Sócio-técnica, apresentando princípios orientadores, definições de grupo de trabalho e ainda aborda a questão da autonomia. Dentro da abordagem do desenvolvimento dessa escola considera que a mesma foi associada a esforços para melhorar a qualidade de vida no trabalho, discute a importância do contexto, da necessidade da organização ser adaptativa e a contribuição de uma perspectiva sócio-ecotécnica. Ainda dentro desse tema, apresenta, como busca de uma alternativa à organização mecanicista, o conceito de <i>Lean Production</i> como uma tendência que surge a partir da década de 1980, mas, com base em Dankbaar, considera que esse seria uma extensão dos métodos da produção em massa para ambientes mais turbulentos com uma ampla variedade de produtos. Considera então que o desafio atual é unir características de flexibilidade e qualidade de vida no trabalho com as necessidades de melhoramento contínuo, aprendizado e inovação. Assim, o desenvolvimento organizacional e a realidade do trabalho devem ser vistos como um fenômeno complexo.</p>
4- Abordagem teórica da complexidade	<p>Cita que a abordagem de sistemas complexos é uma melhor alternativa para compreender o funcionamento de grupos de trabalho.</p> <p>Afirma que surgiu uma “nova corrente de pensamento”, e que esta é a “teoria da complexidade” [aqui vemos a dificuldade da autora de posicionar a complexidade ou sob uma perspectiva mais filosófica ou sob novos conhecimentos científicos relacionados ao comportamento de sistemas complexos].</p> <p>Considera a complexidade como a mudança do paradigma do pensamento clássico.</p> <p>Apresenta idéias de Morin que envolvem: enxergar um sistema com sendo, ao mesmo tempo, mais e menos que a soma de suas partes; reconhecer circularidades e relações antagônicas; retro-alimentação; auto-produção e auto-organização; ordem e desordem simultaneamente. Apresenta princípios da complexidade, ou mandamentos da complexidade, que formam o paradigma da complexidade, definidos por Morin – ver figura a seguir.</p> <p>Fig.: Princípios do paradigma da complexidade por Torres, 2005</p>

PARADIGMA DE SIMPLIFICAÇÃO	PARADIGMA DE COMPLEXIDADE
1. Princípio de universalidade, “só há ciência do geral”, o que comporta uma exclusão do local e do singular.	1. Insuficiência do princípio de universalidade. Combinação do reconhecimento do singular e do local com a explicação do universal, cessando a rejeição destes aspectos como resíduos elimináveis.
2. Eliminação do tempo como processo irreversível, depuração de evolução e historicidade.	2. Reconhecimento e integração da irreversibilidade do tempo na física, na biologia e em toda problemática organizacional. Necessidade da intervenção da história e o acontecimento em todas as descrições e explicações.
3. Redução do conhecimento dos conjuntos ou sistemas ao conhecimento das partes simples ou unidades que os constituem.	3. Impossibilidade de isolar unidades elementares simples. Necessidade de ligar o conhecimento das partes ao dos conjuntos ou sistemas que elas constituem. Os sistemas não só estão formados de partes ou unidades, mas também de interações que podem ser vistas como acontecimentos.
4. Princípio de ordem-mestra, reduzindo o conhecimento das organizações aos princípios da ordem (leis, invariâncias, constâncias) inerentes a essas organizações.	4. Incontornabilidade da problemática da organização e da auto-organização. O conhecimento deve ao mesmo tempo detectar a ordem e a desordem, reconhecer suas relações de complementaridade e complexidade.
5. Princípio de causalidade linear, exterior e superior.	5. Princípio da causalidade complexa, ou causalidade mútua, inter-relacionada, inter-retroações, atrasos, interferências, sinergias, desvios, reorientações. (endo-exocausalidade para os fenômenos de auto-organização)
6. Soberania explicativa da ordem, determinismo universal e impecável onde as aleatoriedades são aparências devidas a nossa ignorância. Assim em função dos 5 princípios anteriores a inteligibilidade de um fenômeno ou objeto complexo reduz-se ao conhecimento das leis gerais e	6. Consideração dos fenômenos segundo uma dialógica (ou um tetragrama) entre <div style="text-align: center;">ordem → desordem → interações → organização └───┬───┬───┬───┬───┘ Integração não só da problemática da organização, mas também da aleatoriedade na busca da inteligibilidade. Princípio de emergência, o que significa que as qualidades e</div>

necessárias que governam as unidades elementares que o constituem.	as propriedades que nascem da organização de um conjunto retroagem sobre esse conjunto.
7. Princípio de disjunção entre o objeto e o meio, isolamento ou separação do objeto em relação ao seu ambiente.	7. Princípio de distinção, mas não de separação entre o objeto com o ser e seu meio ambiente. O conhecimento de toda organização física exige o conhecimento de suas interações com seu ambiente.
8. Princípio de separação entre o objeto e o sujeito que o percebe ou concebe. A verificação por observadores ou experimentadores diversos é suficiente não só para atingir a objetividade, mas também para excluir a subjetividade do sujeito conhecente.	8. Princípio de relação entre o observador ou concebedor e o objeto observado ou concebido, e da inclusão do dispositivo de observação ou experimentação. Necessidade de introduzir o sujeito humano situado e datado cultural, sociológica, e historicamente em estudos antropológicos e sociológicos.
9. Eliminação de toda a problemática do sujeito no conhecimento científico.	9. Possibilidade e necessidade de uma teoria científica do sujeito.
10. Eliminação das noções de ser e de existência pela quantificação.	10. Possibilidade de introduzir as categorias de ser e de existência física, biológica e antropológicamente a partir de uma teoria de autoprodução e auto-organização.
11. A autonomia não é concebível.	11. Reconhecimento científico da noção de autonomia, a partir de uma teoria de autoprodução e de auto-organização.
12. Princípio de confiabilidade absoluta da lógica para estabelecer a verdade intrínseca das teorias, fundamentadas empiricamente nos procedimentos da verificação. Toda contradição aparece necessariamente como erro.	12. Reconhecimento dos limites da demonstração lógica nos sistemas formais complexos. Consideração eventual das contradições ou aporias impostas pela observação ou experimentação como indícios de domínio desconhecido ou profundo da realidade. Associação de noções complementares, concorrentes e antagônicas.
13. Pensa-se inscrevendo idéias claras e distintas num discurso monológico.	13. Pensamento dialógico e por macro-conceitos, ligando de maneira complementar noções eventualmente antagônicas.

Apresenta como complemento à esses princípios as idéias de diversos autores [Waldrop, Çambel, Pagels – via outro autor – e Bauer] relacionadas à caracterização de sistemas complexos: auto-organização; adaptabilidade; aprendizado; evolução; equilíbrio entre a ordem e o caos (limite do caos); falta de previsibilidade; probabilidade de fenômenos; posse de propósito, função, tamanho, configuração e tipos de dinâmica; sua complexidade deve ser considerada dentro do ambiente na qual se desenvolve; encontram-se entre o

	<p>determinado e o casual; possuem circularidade recursiva entre o todo e as partes, entre a ordem e a desordem, e entre a unidade e a diversidade.</p> <p>Afirma que o simples e complexo são complementares.</p> <p>Aborda a organização dentro da perspectiva complexa, tal que é a organização que produz a ordem, e quanto mais complexo for esse organizar mais comportará desordens de todo tipo. Conclui que a organização provê, armazena e consome energia.</p> <p>Afirma que a nova idéia de organização, estendida aos sistemas sociais, utiliza-se de conceitos das ‘ciências exatas’ [acredito que essa classificação da ciência é restritiva, pois a abordagem organizacional, na perspectiva da complexidade, envolve sistemas biológicos e sociais] para entender a dinâmica de sistemas, conceitos esses que seriam: auto-organização; autopoiese; teoria do caos, <i>order from noise</i>, <i>order from fluctuations</i>, entre outros [apenas cita esses conceitos, sem definições, sendo que alguns deles já haviam sido citados anteriormente].</p> <p>Em seguida afirma que será estudado a relação da teoria <i>order from noise</i> com as organizações sociais, e discursa sobre estímulos inesperados provocando reorganização do sistema, apresentando a idéia de empresa auto-organizante de Atlan, que segundo a autora, estímulos inesperados geram desvios do equilíbrio, que demandam da empresa compromisso entre a variedade (de resposta) e a redundância (pela qual a mesma atividade pode ser executada por diferentes partes do sistema).</p> <p>Afirma que se faz necessário um grande número de interconexões entre os componentes do sistema, citando: “na espécie humana o potencial de aprendizado coletivo é diretamente proporcional ao volume de informação trocado entre os indivíduos” [não está claro onde esta idéia está fundamentada, mas não está em linha com os resultados de estudos de <i>network</i>]. Para que isso ocorra considera importante as redes informais e a relação entre o homem e a tecnologia, como promotora de sinergia entre as pessoas.</p> <p>Argumenta, com base em Bauer, que as organizações complexas são mais que auto-organizantes, são auto-geradoras, tal que as organizações e o ambiente se forjam mutuamente [idéia de co-evolução]. Considera, então, que o ambiente deve ser escolhido e estruturado pela organização por meio de um processo interpretativo, tornando-se extensão da cultura organizacional, organizando o ambiente da mesma forma que faz internamente.</p> <p>Utiliza o conceito de autopoiese [de Maturana e Varela] para explicar que quem gera a organização não é o ambiente e sim sua própria identidade organizacional, que deve ser congruente com o ambiente [mas não deixa claro</p>
--	---

	<p>como lidar com esse conceito, em função da aparente incompatibilidade com a intenção da autora de estudar a relação de <i>order from noise</i> com as relações sociais].</p> <p>Cita Luhmann, o qual define os sistemas sociais existindo no domínio das comunicações, assim, as condições requeridas para a autopoiese são definidas em termos dessas comunicações.</p> <p>Argumenta que com base na autopoiese os sistemas podem funcionar de forma não centralizada e não hierárquica, baseados apenas na auto-organização.</p> <p>Afirma que “a necessidade de emergência de um novo paradigma que dê conta da complexidade das organizações sociais, encontra-se cada vez mais presente na produção científica”, por isso o surgimento de novas propostas como a sócio-ecotecnologia, a teoria de redes de atores e do próprio estudo da autora sobre a discussão de grupos sócio-técnicos sob uma visão de fenômenos complexos.</p> <p>Volta a apresentar características de sistemas complexos, só que agora denominados sistemas sócio-técnicos complexos, utilizando como referência Pavard, o qual afirma que um sistema complexo não pode ser estudado a partir do paradigma reducionista clássico. Apresenta, ainda com base em Pavard, as seguintes 4 características de sistemas complexos: (1) não determinismo – é impossível antecipar com precisão o comportamento do sistema; (2) decomposição funcional limitada – é difícil, senão impossível estudar as propriedades do sistema a partir da decomposição de suas partes; (3) caráter distributivo das informações – é difícil localizar precisamente informação, já que, no senso de conexões, ela está distribuída de forma relativamente uniforme, em função de seu caráter holográfico; (4) propriedades emergentes de auto-organização – o sistema apresenta propriedades emergentes que não são apreendidas a partir da compreensão dos seus componentes.</p>
5- Principais termos relacionados à complexidade	<p>Não-linearidade; propriedades globais; muitas partes interagindo; perspectiva da complexidade; princípios do pensamento complexo; teoria da complexidade; teoria de sistemas; circularidade recursiva; comportamento complexo; emergência; sistemas complexos; mudança de paradigma; paradigma da complexidade; relações antagônicas, complementares e concorrentes; circularidades; retro-alimentação; autonomia; auto-produção ou auto-geradora; auto-organização; ordem e desordem; causalidade complexa; interações; atraso; interferência; desvios; sinergia; aleatoriedade; distinção e não separação; inclusão do observador; datação cultural, sociológica e histórica; dialógica; adaptabilidade; aprendizagem; evolução; possuem</p>

	<p>propósito, função, tamanho, configuração e tipo de dinâmica; limite do caos; provê, armazena e consome energia; simples e complexo são complementares; entre o determinado e o casual; falta de previsibilidade; probabilidade; dinâmica de sistemas; autopoiese; teoria do caos; <i>order from noise</i>; <i>order from fluctuations</i>; auto-organizante; não determinismo; decomposição funcional limitada; caráter distributivo das informações.</p>
6- Proposta de aplicação da complexidade à gestão	<p>Se propõe a tomar como base o modelo de organização da escola sócio-técnica em um ambiente complexo, no estudo de grupos semi-autônomos, procurando utilizar princípios do pensamento complexo para complementar essa proposta, e ainda, somados à conhecimentos de ergonomia.</p> <p>Afirma que a proposta de sistemas sócio-técnicos, por ser incompleta, deve ser abordada sob a perspectiva de sistemas complexos [o que parece, nesse momento no texto, ser entendido como equivalente ao pensamento complexo]. A autora considera que o grupo de trabalho sócio-técnico deve ser visto como um “organismo auto-organizante e emergente”</p> <p>Ao explorar a idéia de autopoiese, afirma que a auto-geração substitui o controle hierárquico, e a flexibilidade substitui o planejamento, tal que deveria ser criado um planejamento em tempo real, em fluxo vinculado à ação.</p> <p>Segundo a autora, deve-se ampliar o escopo das perturbações ambientais e derrubar as barreiras que isolam o sistema de perturbações externas, que buscavam preservar sua identidade [pode-se considerar um tanto precipitada essa afirmação, pois os próprios criadores do conceito de autopoiese consideram importante a identidade do sistema].</p> <p>Afirma que “a partir de uma avaliação da realidade do trabalho como um fenômeno multi-variável, procura-se vislumbrar os aportes que a perspectiva da complexidade pode trazer à descrição e concepção de grupos de trabalho semi-autônomos, ao conteúdo das tarefas e à idéia de organização da qual fazem parte”.</p> <p>Explora a idéia que a ergonomia deve ser utilizada como base conceitual para realizar o estudo da atividade no trabalho.</p> <p>Parte do pressuposto de que “os grupos de trabalho por si só constituem sistemas complexos, já que em sua dinâmica estão imersas as características imprevisíveis e multidimensionais das relações interpessoais”.</p> <p>Afirma que utiliza na pesquisa a visão de Pavard, que realizou aportes da teoria da complexidade aos sistemas sócio-técnicos cooperativos. Também considera, na análise ergonômica do trabalho, a perspectiva de Guerin que considera o objeto de estudo como complexo, inserindo a questão ergonômica em um contexto organizacional amplo.</p>

	<p>Realiza, em função de um estudo de caso, uma análise da dinâmica dos grupos de trabalho à luz das premissas da teoria da complexidade, utilizando a combinação de 4 elementos principais: (1) auto-organização; (2) Identidade; (3) Auto-produção; e (4) Ordem-desordem [mas não estabelece com clareza a referência conceitual relacionada ao desenvolvimento de cada um desses conceitos, ficando a cargo do leitor estabelecer a ligação com as contribuições anteriores da fundamentação teórica].</p> <p>Conclui que a re-organização [auto-organização] e auto-produção dos grupos de trabalho são propriedades importantes em ambientes que mudam constantemente, tal que, com isso os grupos de trabalho como unidade primária de produção podem ajudar a dar respostas rápidas, adaptando-se às novas condições, criando estratégias para atender a demanda. Salienta a necessidade de se rever a perspectiva de grupos, para que possa superar dificuldades encontradas na pesquisa, tal como a ligação entre os grupos e o macro-sistema.</p>
7- Perspectiva futura da complexidade	<p>Relativo aos grupos de trabalho, considera que o temas auto-organização e autonomia podem ser explorados em trabalhos futuros.</p>

APÊNDICE C

ABALOS DO PARADIGMA MECANICISTA - DETALHAMENTO

Abalos relacionados aos modelos matemáticos

Teoria dos Grafos

O matemático suíço Leonhard Euler desenvolveu, em 1736, o ramo da matemática chamado ‘teoria dos grafos’, que é a base para nosso pensamento sobre *networks*. Curiosamente, essa teoria surgiu do passatempo da população da cidade de Königsberg, na Prússia, em se questionar se: poderia alguém caminhar sobre as sete pontes da cidade sem ter passado duas vezes em uma das pontes - ver fig. a seguir (baseado em Barabási, 2003, p. 10 e 11).

Fig.: Pontes de Königsberg

Euler provou que não era possível atravessar todas as pontes passando apenas uma vez sobre elas através da simples observação: nós com um número ímpar de links devem ser ou o ponto de início ou de fim da jornada; assim, uma jornada contínua deve ter apenas um ponto de início e de fim. Em 1875 foi construída mais uma ponte entre as áreas B e C – que seria no canto esquerdo da fig. 23 (baseado em Barabási, 2003, p. 12).

Assim, conforme Barabási (*ibidem*), a mensagem de Euler é muito simples: gráficos ou *networks* possuem propriedades, escondidas em suas construções, que limitam ou ampliam nossa habilidade de fazer algo com eles [...] A construção e a estrutura de gráficos ou *networks* é a chave para o entendimento do complexo mundo em nossa volta”.

Apesar do aspecto inovador anti-reducionista dessa proposta, por exigir a compreensão do todo para se chegar a uma solução, foram necessários mais de dois séculos para se perceber a importância dos *networks* no entendimento da dinâmica de sistemas complexos e estes passaram a se tornar objeto de estudo profundo.

Estudo matemático da dinâmica dos três corpos

As formulações matemáticas deterministas com uso de cálculo diferencial se prestavam a resolver problemas de grande envergadura, mas, ao mesmo tempo, situações aparentemente simples envolvendo movimentos mecânicos com poucos elementos não podiam ser resolvidas.

Este é o caso da colisão simultânea de três corpos (ver figura a seguir). Assim, o problema da interação de poucos elementos revela uma complexidade que o paradigma mecanicista e seus recursos matemáticos não pode resolver. Ou seja, dentro da própria física dos movimentos, determinados fenômenos do mundo ficam sem uma explicação completa, ou seja, sem uma certeza dedutível.

Fig.: Problema dos três corpos

O caso clássico do problema dos três corpos envolve a dificuldade de descrever o movimento de três corpos que estejam gravitacionalmente ligados entre si. Isto se deve ao evento que ocorreu em 1887 na Suécia, quando o rei Oscar II anunciou um prêmio para o primeiro matemático que resolvesse o problema da interação de n -corpos e provasse a estabilidade do sistema solar. Foi o matemático francês Henri Poincaré quem ganhou o prêmio, apesar de não resolver o problema⁹². Contudo, sua genialidade demonstrou que o problema não possuía solução analítica e desenvolveu uma solução qualitativa geral para os sistemas dinâmicos, desenvolvendo o ramo da matemática denominado topologia. Foi quando esbarrou no que hoje se denomina ‘caos’, salientando a questão da sensibilidade das condições iniciais, mas foram necessários quase cem anos para que os desenvolvimentos na matemática e na computação pudessem retomar os estudos para valorização e compreensão do caos (baseado em Stewart, 1991, p. 66 a 74).

Teorema de Godel

Kurt Godel, em um artigo publicado em 1931 intitulado “Sobre as proposições indecidíveis dos Principia Mathematica⁹³ e sistemas correlatos”, estabeleceu um marco na história da lógica e da matemática (baseado em Nagel e Newman, 2003, p. 13) .

“O grande sonho [dos matemáticos] era que um conjunto finito de asserções verdadeiras (os axiomas) formaria uma base de que poderíamos deduzir todas as asserções verdadeiras [teoremas] dos números inteiros” (Ruelle, 1993, p. 197)

Mas o teorema de Godel, também chamado de ‘teorema da incompletude’, conclui que “é impossível estabelecer a consistência lógica interna de uma amplíssima classe de sistemas dedutivos, a menos que adotemos princípios de raciocínio tão complexos que sua consistência interna fica tão aberta à dúvida quanto a dos próprios sistemas” (Nagel e Newman, 2003, p. 15).

Ou seja, “Godel mostrou que, se fixarmos as regras de inferência e um número finito qualquer de axiomas, haverá asserções precisamente formuladas sobre as quais não poderemos demonstrar nem que são verdadeiras, nem que são falsas” (Ruelle, 1993, p. 197).

⁹² “O ensaio premiado de Poincaré intitulava-se ‘Sobre o problema dos três corpos e as equações da dinâmica’. Foi publicado em 1890 [...]” (Stewart, 1991, p. 74).

⁹³ “Os ‘Principia Mathematica’ mencionados no título são o monumental tratado de 3 volumes de Alfred North Whitehead e Bertrand Russel sobre lógica e matemática e fundamentos da matemática” (Nagel e Newman, 2003, p. 13).

Assim, “[...] o teorema de Godel nos diz que já a aritmética dos números inteiros é de uma inimaginável complexidade” (*ibidem*, p. 201).

“Graças a Godel, sabemos que nunca haverá um método permanente para determinar se uma proposição [asserção] matemática é verdadeira, da mesma forma que não há um meio permanente para determinar se uma teoria científica é verdadeira” (Deutsch, 2000, p. 179).

O grande reduto das certezas do mecanicismo, a matemática, fora seriamente abalada.

Abalos relacionados aos fenômenos da natureza: na Físico-Química

Termodinâmica

“A termodinâmica clássica, ao contrário da mecânica, é sistêmica, tratando das variáveis coletivas do sistema” (Rosa, 2006, p. 27).

“A termodinâmica tem um caráter empírico: suas leis resultam da observação experimental. [...] os métodos da ciência experimental estabelecidos no século XVII com a revolução científica passam a se aplicados aos diversos ramos do conhecimento; tais aplicações, por sua vez, são utilizadas para propiciar as transformações nos meios de produção. [...] Para o estabelecimento e êxito do que se chamou revolução industrial, as inovações tecnológicas tiveram um papel fundamental, destacadamente a máquina a vapor [a qual desencadeou o interesse pelos estudos termodinâmicos...]. Segundo J. D. Bernal, mudanças político-sócio-econômicas e conquistas científicas e tecnológicas não ocorrem independentemente” (Rocha 2002, p. 139 a 141).

“A *termodinâmica* é a ciência que lida com a temperatura e todos os fenômenos associados a ela [como calor, trabalho e energia]. [...] A termodinâmica é uma ciência ímpar dentro da física. Sua estrutura lógica é muito distinta daquela envolvida na mecânica, no eletromagnetismo, na mecânica quântica etc. Tal estrutura fica fora do paradigma newtoniano, no qual as leis fundamentais da Natureza são equações diferenciais no espaço e tempo” (Chaves, 2001, p. 16).

Os principais conceitos na termodinâmica que exigem uma abordagem diferenciada do mecanicismo são: energia, flecha do tempo (irreversibilidade), entropia, dissipação e matemática estatística.

Conforme Prigogine e Stengers (1997, p. 87 e 88), em 1847 Joule estabelece a conexão entre a ciência do calor, a química, a eletricidade, o magnetismo e a biologia [e a mecânica], estabelecendo a idéia de ‘conversão’. Tal que alguma coisa se conserva quantitativamente mas muda de forma qualitativa. Ao definir o equivalente geral de tais conversões, Joule fornece o meio de medir a grandeza que se conserva e que será chamada de energia.

“A conservação de uma grandeza física, a energia, através das transformações que os sistemas físicos, químicos e biológicos podem sofrer, vai desde então ser colocada na base do que podemos chamar de a ciência do complexo, e vai constituir o fio condutor que permitirá explorar de maneira coerente a multiplicidade dos processos naturais” (*ibidem*)

“O princípio de conservação de energia, resultado dos trabalhos de Mayer, Joule e Helmholtz⁹⁴, possui um caráter universal. Não há um só fenômeno conhecido que não verifique na primeira lei da termodinâmica, expressão da conservação de energia. No entanto, existe na natureza uma clara distinção entre duas classes de fenômenos, reversíveis e irreversíveis⁹⁵. Essa linha divisória, evidenciada nos trabalhos de Carnot [complementado pelos trabalhos de Lord Kelvin⁹⁶ e Clausius], estabelece a noção de flecha do tempo [estabelecida pela segunda lei da termodinâmica]. A grande maioria dos fenômenos só pode ocorrer obedecendo a uma estrita ordem temporal. Qual a natureza física de tal restrição? Nenhuma lei fundamental da física [mecanicista de Newton] estabelece uma distinção entre passado e futuro. Todas são simétricas em relação à variável temporal. Isso coloca a flecha do tempo como uma das questões fundamentais da física” (Quadros, 1996, p. 68).

⁹⁴ “Os trabalhos de Joule mostraram que as diferentes formas de energia podem ser transformadas umas nas outras, mas nunca [podem ser] criadas ou destruídas [em um sistema fechado]. [...] Esse é o princípio da conservação da energia” (Quadros, 1996, p. 58).

⁹⁵ “Energia mecânica pode ser transformada em calor sem restrições, mas a conversão do calor em energia mecânica só ocorre em circunstâncias especiais” (Quadros, 1996, p. 64). Isso se deve à dissipação de energia na forma de calor ao querer transformá-la em trabalho, ou seja, nesse sentido sempre há um desperdício de energia calorífica.

⁹⁶ Lord Kelvin era a apresentação formal do título concedido ao cientista William Thomson.

O princípio da conservação de energia alinha-se à idéia de que a ordem do universo se mantém; por consequência, a regularidade é preservada. Aparentemente corrobora com a idéia de reversibilidade, mas na prática o que se observa são transformações de energia como fenômenos irreversíveis. Assim, com a segunda lei da termodinâmica, surge o conceito de entropia, que estabelece a diferenciação entre processos reversíveis e irreversíveis.

“A segunda lei ficou mais definida em 1865, quando Clausius distinguiu processos reversíveis de processos irreversíveis, introduzindo o conceito de *entropia*: uma grandeza que aumenta implacavelmente com a dissipação [de energia] e atinge seu valor máximo quando todo o potencial de executar trabalho está esgotado. De acordo com essa versão da segunda lei, num processo reversível [idealizado] a variação de entropia é nula, ao passo que nos processos irreversíveis a entropia sempre aumenta [...] A entropia é, sem dúvida nenhuma, o conceito mais importante da termodinâmica e proporciona uma flecha do tempo explícita, ou seja, a entropia crescente coincide com o movimento do tempo para a frente” (Coveney e Highfield, 1993, p. 103).

“Com os resultados de Clausius, conclui-se que, enquanto a primeira lei corresponde a um princípio de conservação, a segunda lei corresponde a um princípio de evolução” [agora dissociado do conceito de reversibilidade] (Rocha, 2002, p. 156). Assim, por meio do conceito da entropia, aparece:

“[...] mais claramente a problemática de que nasceu a termodinâmica, a dissociação entre o conceito de conservação e reversibilidade: contrariamente às transformações mecânicas [teorizadas], onde os ideais de reversibilidade e de conservação coincidem, uma transformação físico-química pode conservar a energia, embora não podendo ser invertida” (Coveney e Highfield, 1993, p. 94).

Para melhor entender o conceito de entropia os cientistas passam a utilizar situações idealizadas, como, por exemplo, quando se considera para estudo um ‘sistema isolado’ – que não efetua nenhum tipo de troca com seu ambiente. Assim, de acordo com a segunda lei:

“Qualquer processo que ocorre naturalmente num sistema isolado deve ser acompanhado de um aumento da entropia do sistema. Portanto a entropia fornece uma flecha do tempo em todos os sistemas isolados. A evolução temporal de um

sistema isolado pára quando a entropia atinge seu valor máximo, momento em que o sistema está no estado de aleatoriedade máxima. Nesse momento o sistema esgotou toda a capacidade de se modificar, isto é, chegou ao equilíbrio termodinâmico” (Coveney e Highfield, 1993, p. 133 e 134).

Considera-se então que, para um sistema isolado:

“[...] o crescimento da entropia designa uma *evolução espontânea* do sistema [transformações internas no interior do sistema que são irreversíveis]. A entropia torna-se assim um ‘indicador de evolução’ [do sistema] e traduz a existência na física da flecha do tempo. Para todo o sistema isolado, o futuro é na direção na qual a entropia aumenta” (Prigogine e Stengers, 1997, p. 96).

Ao se considerar o universo como sistema isolado, Clausius, em 1865, apresentou as duas primeiras leis da termodinâmica de forma cosmológica: (1) A energia do universo é constante; (2) A entropia do universo tende ao máximo, o que o levaria ao equilíbrio, onde não haveria nenhuma organização e, conseqüentemente, alcançar-se-ia a morte térmica do universo. Desta forma:

“O aumento de entropia não é mais sinônimo de perdas; encontra-se ligado aos *processos naturais* de que o sistema é sede e que invariavelmente o levam para o equilíbrio, estado onde a entropia é máxima e onde nenhum processo produtor de entropia pode mais se produzir. [...] Para um sistema isolado, o equilíbrio aparece como um verdadeiro atrativo dos estados de não-equilíbrio [...] *todos* os sistemas em estado de não-equilíbrio evoluem para o *mesmo* estado de equilíbrio. Chegado ao equilíbrio, o sistema *esqueceu* suas condições iniciais, esqueceu a maneira como foi preparado. [...] Chegamos aqui a duas descrições fundamentalmente diferentes: a dinâmica, aplicável ao mundo das massas em movimento, e a termodinâmica, base da ciência do complexo” (Prigogine e Stengers, 1997, p. 96 a 98).

Assim, o desenvolvimento da termodinâmica volta-se para os estudos relacionados aos estados de equilíbrio. Neste ponto, a perspectiva reducionista do enfoque mecanicista estabelece uma questão importante:

“[...] está associada à relação entre a descrição macroscópica do sistema no estado de equilíbrio termodinâmico e a descrição do comportamento microscópico das partículas; espera-se que as grandezas termodinâmicas macroscópicas reflitam o comportamento microscópico do sistema.” (Rocha 2002, p. 160).

Assim, com base Prigogine e Stengers (1997, p. 98), havia a oposição entre ‘energetistas’, que defendiam que os dois princípios da termodinâmica se baseavam em leis fundamentalmente novas da física, e ‘atomistas’ [reducionistas materialistas], que apoiados na perspectiva mecanicista acreditavam que a complexidade dos fenômenos naturais pudessem ser reduzidos à simplicidade de comportamentos elementares.

O grande desafio mecanicista era utilizar as leis da mecânica de Newton aos constituintes elementares de um gás, para chegar às mesmas leis fenomenológicas estabelecidas pela termodinâmica. Esta ligação é feita pela evolução da teoria cinética dos gases no século XIX, provocando o desenvolvimento da mecânica estatística.

Os principais pioneiros relacionados a essa evolução são James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzman.

“A teoria da probabilidade já havia sido significativamente elaborada do ponto de vista matemático por Laplace, entre 1795 e 1812. Apesar do sucesso da teoria em lidar com eventos aleatórios, principalmente em apostas de jogos de azar, Laplace salientou que sempre a introdução do acaso era apenas um artifício para superar a impossibilidade (a seu ver momentânea) de se predizer a evolução dos sistemas mecânicos sujeitos a forças de interação complexas, com choques e atritos. A utilização da teoria de probabilidades por Maxwell na análise do gás indica, pela primeira vez, de maneira inequívoca e contrária ao pensamento de Laplace, a necessidade de incorporar elementos de aleatoriedade na descrição de sistemas físicos” (Rocha 2002, p. 166).

Sabe-se que Maxwell⁹⁷ se inspirou nos trabalhos de Adolphe Quêtelet⁹⁸ sobre estatísticas sociais, o qual desenvolveu o conceito do “homem médio” (baseado em Prigogine e Stengers, 1997, p. 99 e Rosa, 2006, p. 59).

⁹⁷ Maxwell apresentou em 1859 um artigo sobre a velocidade média das partículas nos gases, e a partir de 1860 desenvolveu ainda mais essas idéias para explicar as propriedades macroscópicas dos gases

Com relação a Boltzmann, seus trabalhos começaram a se tornar notórios a partir de 1872. E entre eles estava a proposta ambiciosa de descrever a lei do crescimento da entropia pelas leis da mecânica, tal que seus trabalhos foram além de Maxwell, que tinha as colisões como um mecanismo de manutenção do equilíbrio. Boltzmann tratou as colisões moleculares como o principal mecanismo na evolução de um gás para o estado de equilíbrio (Rocha 2002, p. 168).

Ao tratar os efeitos das colisões pela abordagem das probabilidades Boltzmann estabelece que, na evolução do sistema, o estado ordenado é apenas um estado dentre os muitos possíveis estados desordenados, tal que sua ocorrência na evolução natural do sistema é praticamente improvável. Assim:

“[...] qualquer que seja a evolução particular do sistema ele acabará por chegar a um dos estados microscópicos que correspondem ao estado macroscópico máximo de desordem e de simetria [estado de equilíbrio]; com efeito a esmagadora maioria dos estados microscópicos possíveis realizam esse estado. Uma vez nele, e pela mesma razão, o sistema não se afastará desse estado senão por tempo e distâncias muito curtos, e não cessará de *flutuar* em volta do estado atrativo [de equilíbrio]. O princípio de ordem [ou de desordem] de Boltzmann implica que o estado mais provavelmente acessível a um sistema é aquele em que os acontecimentos em tropel que se produzem simultaneamente nesse sistema *compensam estatisticamente* seus efeitos. [...]. A interpretação de Boltzmann permite, pois, compreender a singularidade dos estados atrativos que são estudados pela termodinâmica do equilíbrio. [...] O raciocínio de Boltzmann pôde ser generalizado aos sistemas fechados e abertos que admitem o estado de equilíbrio”. (Prigogine e Stengers, 1997, p.100).

Desta forma, a polêmica em relação à obra de Boltzmann deve-se ao fato que “partindo de uma situação da Mecânica newtoniana, portanto reversível ao tempo, se obtém como resultado final uma equação descrevendo uma situação irreversível de aproximação do equilíbrio” (Rocha 2002, p. 168). Isso foi denominado como ‘paradoxo da reversibilidade’, que pode ser entendido também como o ‘paradoxo do tempo’.

(baseado em Gribbin, 2005 , p. 373 e 374), desenvolvendo, a partir de então, suas teorias de forma recursiva coma as teorias de Boltzmann.

⁹⁸ Seu trabalho mais conhecido é *A treatise on man* de 1835

O impacto do trabalho de Boltzmann foi considerar o aumento de entropia como fruto de um processo estatístico, envolvendo cálculo de probabilidades, e não resultado de um processo dinâmico descrito pela matemática newtoniana. “Pela primeira vez um conceito físico foi explicado em termos de probabilidade” (Prigogine e Stengers, 1997, p.100).

Apesar de trazer uma explicação satisfatória à uma grande quantidade de fenômenos físico-químicos nesse momento, essa resposta fica incompleta para diversos fenômenos evolutivos da natureza que envolvem sistemas abertos que não estão no equilíbrio: todos os relacionados com a natureza viva; o próprio desenvolvimento das sociedades; os fluxos turbulentos; a metrologia, entre outros.

Mesmo que nesse contexto o enfoque da evolução dos sistemas dinâmicos fosse o estado de equilíbrio termodinâmico, e seu embasamento estar voltado para dinâmicas mecanicistas no nível dos elementos, questões novas foram incorporadas ao pensamento científico, tais como: a necessidade de novos recursos para tratar sistemas complexos, que passam a ser associados àqueles que possuem uma grande quantidade de elementos interagindo, e para os quais se propõe um tratamento estatístico; a desordem é uma outra perspectiva de se enxergar os fenômenos físicos; a imprevisibilidade de elementos individuais não impede uma certa previsibilidade de fenômenos macros; e, acima de tudo, o surgimento do paradoxo do tempo pelo estabelecimento da flecha do tempo nos processos irreversíveis.

As contribuições de caráter prático propiciadas pelo desenvolvimento da termodinâmica, que passam a ser incorporadas ao desenvolvimento tecnológico em andamento e estavam promovendo o progresso no sentido de expansão capitalista, faz com que a termodinâmica fosse considerada um corpo de conhecimento científico ao lado da mecânica clássica.

Eletromagnetismo

Dois nomes servem como referência histórica no tema eletromagnetismo: Faraday e Maxwell, mas não se limita a eles o desenvolvimento nessa área.

As principais contribuições, no que tange ao abalo do mecanicismo, foram a teoria do campo de força, a existência de ondas eletromagnéticas e a velocidade imutável da luz independentemente do referencial.

“De 1831 a 1855, Faraday exerceu uma intensa atividade experimental” (Abrantes, 1988, p. 179). Além de descobrir as relações entre eletricidade e magnetismo foi o responsável pelos estudos de linhas de força magnética, que se desdobraram na criação do conceito científico de campo de força explorado matematicamente por Maxwell.

Os esforços de ambos estiveram inicialmente voltados para uma concepção de campo que funcionasse de maneira mecanicista, tal que partem de “uma imagem da natureza que, fundamentalmente, rejeita a possibilidade de uma ação à distância no domínio dos fenômenos elétricos e magnéticos. Ambos os conceitos [fenômenos elétricos e magnéticos] pretendem responder por uma contigüidade na transmissão da ação física” (Abrantes, 1998, p. 181).

“Com as equações do eletromagnetismo estabelecidas por Maxwell em 1864, no entanto, o campo veio ganhar realidade física [no sentido ontológico], se usarmos um termo polêmico para alguns, e tornou-se um constituinte do universo além da matéria” (Rosa, 2006, p. 33). Ainda conforme Rosa (*ibidem*, p. 495) “diferentemente das leis de Newton, as de Maxwell são extremamente abstratas [...]”.

Maxwell desenvolveu suas teorias relacionadas ao eletromagnetismo de forma evolutiva ao longo de 20 anos. Partiu, em 1855, do objetivo de dar “corpo matemático” a certas concepções de Faraday, com a intenção de se estabelecer um ‘teoria mecânica completa’ dos fenômenos eletromagnéticos (baseado em Abrantes, 1988, p. 185, 197, 198 e 200).

“A teoria eletromagnética desenvolvida por J. C. Maxwell e publicada de forma completa em 1873, no seu célebre livro *A treatise on Electricity and Magnetism*, sintetiza, do ponto de vista teórico, os conhecimentos nos ramos do magnetismo, eletricidade e Óptica” (Rocha, 2002, p. 187).

“As equações de Maxwell levaram à unificação da eletricidade e do magnetismo em uma só teoria, entretanto, mais impressionante, ainda, foi a predição feita por essas equações de que o campo elétrico e magnético podem viajar através do vácuo, sob a forma de ondas eletromagnéticas, como a luz transportando consigo energia sem transporte de matéria. Com isso abrangue a óptica na teoria eletromagnética. [...] A teoria de Maxwell incluiu a propagação ondulatória da luz e abriu o caminho para

unificar diversos fenômenos, que vieram a ser identificados como ondas eletromagnéticas”. [...] “De certo modo Maxwell repetiu com a propagação do campo eletromagnético no vácuo a ousadia teórica de Newton ao formular a lei da gravidade como uma ação à distância [aceitando-se, de certa forma, a gravidade com uma característica inata da matéria]. Mas, ao contrário de Newton, que se recusou a formular hipóteses sobre um mecanismo capaz de explicar a atração à distância entre os planetas e o Sol, que lhe parecia intuitivamente um absurdo, Maxwell buscou explicar os fenômenos eletromagnéticos com um modelo mecânico. Assim, de certo modo, aproximou-se do espírito mecanicista de Descartes, que buscou explicar sem sucesso o movimento planetário pela ação de vórtices no éter” (Rosa, 2006, p. 35 e 36, 40 e 41).

Uma das características do eletromagnetismo clássico é a dificuldade em estabelecer associações com a mecânica clássica⁹⁹. Conforme as equações de Maxwell, a velocidade da luz é uma constante, dependendo apenas da permissividade elétrica e permeabilidade magnética do vácuo, o que viola um dos princípios dos movimentos de Galileu no qual a velocidade muda quando o observador muda de referencial, abalando uma das bases da mecânica clássica. Apesar dos avanços teóricos, Maxwell recorre, inicialmente, à idéia de um ‘éter absoluto’, existente como uma substância invisível e imponderável, como meio que preenche o espaço vazio, o vácuo, para que haja a propagação das ondas eletromagnéticas.

“Nas primeira décadas do século XX, a insistência de Maxwell em defender a existência de um éter material foi considerada mais e mais um gesto *pro forma*, sem maior convicção – o que certamente não fora [na origem] – e as tentativas de conceber tal meio etéreo foram abandonadas. Os cientistas já não consideram[vam] acientífico falar de deslocamento elétrico, sem especificar o que estava sendo deslocado. O resultado, mais uma vez, foi um novo conjunto de problemas e padrões científicos, um dos quais, no caso teve muito a ver com a emergência da teoria da relatividade” (Kuhn, 1997, p. 142).

Apesar do desenvolvimento do conceito de campos de força e ondas eletromagnéticas, e ainda a questão da constância da velocidade da luz no vácuo, a busca por explicações mecanicistas predominava.

⁹⁹ Mas que serão compatíveis com a teoria da relatividade especial.

Devido aos resultados práticos propiciados pelo desenvolvimento do eletromagnetismo (tais como: distribuição de energia elétrica, motores, telégrafo, telefone, rádio, cinema e televisão), tal como a termodinâmica, esta área de conhecimento conviveu ao lado da mecânica clássica. Só que nesse caso a abordagem de objeto corpuscular com localização específica teve que conviver com uma abordagem de onda. Conforme Menezes (2005, p. 20) o desenvolvimento do eletromagnetismo pode ser associado à segunda revolução industrial.

Teoria da Relatividade

A teoria da relatividade desenvolve uma perspectiva de mundo para além dos fenômenos observáveis no cotidiano comum. O movimento relativo, nos moldes de Galileu-Newton, já estava sendo abalado pela conclusão matemática de Maxwell da imutabilidade da velocidade da luz no vácuo, independente do seu referencial. Assim, a teoria da relatividade, ao explorar as consequências desse fenômeno, abala os dogmas do espaço e tempo absolutos, e ainda, estabelece uma equivalência entre matéria e energia.

A teoria da relatividade, na realidade, desenvolveu-se em duas etapas: a teoria da relatividade especial, ou restrita, e a teoria da relatividade geral.

A teoria da relatividade especial¹⁰⁰ se desenvolveu para tratar a aparente incompatibilidade do princípio da velocidade relativa da mecânica clássica e a lei da propagação da velocidade da luz, constante no vácuo independente do referencial. Essa incompatibilidade se deve ao fato de se aceitar incontestavelmente duas hipóteses da mecânica clássica: (1) o intervalo de tempo entre dois eventos independe do estado de movimento do corpo de referência; (2) a distância espacial entre dois pontos de um corpo rígido independe do estado de movimento do corpo de referência (baseado em Einstein, 1999, p. 28 a 31).

Uma das grandes realizações conceituais de Einstein deu-se no momento em que “incluiu então o tempo como uma coordenada, juntamente com as coordenadas espaciais, formando um espaço-tempo não euclidiano [quadridimensional ...]” (Rosa, 2006, p. 106). Como consequência não se pode atribuir ao conceito de simultaneidade um significado absoluto, e conforme Einstein (*in* Rosa, 2002, p. 108): “dois acontecimentos simultâneos quando vistos

¹⁰⁰ “A princípio Einstein se restringiu a objetos se movendo a velocidades constantes [referenciais inerciais] uns em relação aos outros - sempre com a mesma velocidade e em linhas retas [...] Esse é o sentido no qual a teoria que ele obteve em 1905 é ‘especial’: o termo significa ‘restrita’, como algo que é um caso especial de um fenômeno mais geral” (Gribbin, 2001, p. 51).

de um determinado sistema de coordenadas podem não ser simultâneos quando vistos de um sistema que se move em relação ao primeiro”.

A teoria da relatividade especial estabeleceu matematicamente que o tempo transcorre mais lento quanto maior a velocidade do referencial em que está sendo medido¹⁰¹, o que é denominado como dilatação do tempo, e ainda, que um corpo rígido encurta de tamanho e aumenta sua massa quanto maior sua velocidade – condições que seriam facilmente percebidas de um referencial inercial quando os fenômenos observados envolvem velocidades que se aproximam da velocidade da luz. E ainda:

“O resultado de caráter geral mais importante a que a teoria da relatividade [especial] nos conduziu refere-se ao conceito de massa. A física pré-relativística conhece dois princípios de conservação de fundamental importância: a lei de conservação da energia e a lei da conservação da massa. Esses dois princípios aparecem como inteiramente independentes um do outro. Na Teoria da Relatividade eles são fundidos em um princípio único [Estabelece-se a equivalência entre massa e energia, $E = mc^2$]” (Einstein, 1999, p. 42).

Foi estabelecido um fator de correção nas equações newtonianas, para o tratamento da cinemática, tal que seus efeitos só são observados na ‘prática’ quando houverem velocidades próximas da luz. Desta forma, a ordem e a certeza da realidade física obtida matematicamente ainda permanece, só que com uma profundidade maior de pensamento para lidar com um aparente conflito. Considerando a velocidade da luz com sendo igual a ‘ c ’, passa-se a ter que $c + c = c$, de modo que, mesmo com a linearidade abalada, a solução matemática sobre a equação de Newton¹⁰² mantém a ordem do universo previsível.

Mas havia uma incompatibilidade com a lei da gravidade de Newton:

“A teoria da relatividade de 1905 de Einstein é denominada de relatividade especial. Isso acontece porque, embora se sáísse muito bem em explicar que a velocidade da luz era igual para todos os observadores e em explicar o que acontece quando as coisas se movem a velocidades próximas da luz, era incompatível com a teoria newtoniana da gravidade” (Hawking e Mlodinow, 2005, p. 45).

¹⁰¹ “Isso exigia o abandono da idéia de que existe uma quantidade universal chamada tempo que todos os relógios mediriam. Ao contrário, cada um teria seu tempo pessoal” (Hawking, 2001, p. 9).

¹⁰² $V = (V_1 + V_2) / (1 + (V_1 V_2) / c^2)$, se V_1 e V_2 forem c , a velocidade final V será igual a c .

“Segundo essa lei [da gravidade], mudando-se a distribuição de matéria em uma região do espaço, a mudança no campo gravitacional seria sentida instantaneamente em todas as outras partes do universo. Isso não apenas implicaria que se poderiam enviar sinais mais rápido que a luz (algo proibido pela relatividade), como, para saber o que significa instantâneo, também exigia a existência do tempo absoluto ou universal, que a relatividade tinha abolido a favor do tempo pessoal” (Hawking, 2001, p. 14).

Para lidar com a ação da gravidade, Einstein, em 1915, propôs uma teoria mais revolucionária ainda, a qual passa ser denominada ‘teoria geral da relatividade’. Antes de Einstein, a atração gravitacional de um corpo pelo outro, era explicada pela noção de força. Essa teoria propôs o espaço-tempo curvo, tal que:

“As massas dos corpos (especialmente as grandes massas) deformam o espaço-tempo na sua vizinhança, encurvando-o de tal modo que, no caso do sol, por exemplo, a trajetória natural dos planetas em torno dele é elíptica. Nesta nova teoria não há necessidade de qualquer força atrativa gravitacional no sentido newtoniano” (Rosa, 2006, p. 116).

Na relatividade geral, espaço-tempo e matéria são interdependentes, pois a matéria modela o espaço-tempo. “A relatividade geral mudou completamente a discussão sobre a origem e o destino do universo” (Hawking, 2001, p. 21 e 22).

Ocorre com a relatividade um reconhecimento de que o mundo físico é um sistema mais complexo do que a visão mecanicista simplificadora estabelecia; isso passa a exigir novas teorias. Apesar de tamanhas contribuições para o pensamento e compreensão dos sistemas físicos, a teoria da relatividade é considerada por muitos, em um certo sentido, uma evolução do pensamento newtoniano, já que conserva aspectos do pensamento clássico que considera as coisas variando suave e continuamente ao longo do tempo, de forma previsivelmente determinista, utiliza os mesmos recursos analíticos matemáticos, e ainda, mantém o pressuposto que a realidade e observador existem independentemente – apesar dela ter derrocado a concepção de forças gravitacionais no sentido newtoniano, abalado a idéia de simultaneidade, ter apresentado uma outra dinâmica dos corpos a velocidades próximas da luz e em gravidades elevadas, tal que obriga a admitir que a visão da realidade de um

indivíduo é apenas uma entre muitas – na verdade, um número infinito –, todas as quais se acomodam dentro do todo espaço-tempo.

Como decorrência da teoria de Einstein, o universo estacionário cedeu lugar para um universo em evolução, e as considerações sobre espaço e tempo, não mais absolutos e inter-relacionados, passaram a instigar a imaginação mais do que qualquer outro tema científico, o que sempre contribuiu para o desenvolvimento de novas teorias e formas de pensar científicas, e é o que tem acontecido como decorrência da relatividade principalmente sobre questões cosmológicas.

Teoria Quântica

“[...] a física quântica prediz um comportamento de partículas quânticas que contradiz por inteiro nossa compreensão cotidiana usual” (Zeilinger, 2005, p. 27).

A teoria quântica inicia-se também relacionada ao estudo da luz, buscando solucionar a emissão de luz por corpos incandescentes, questão que Maxwell não explicou. Em 1900, Max Planck propõe que a luz é emitida por meio de pacotes indivisíveis de energia chamados quanta, ou fótons, e não como onda, como previa a teoria de Maxwell. Ao que parece, um dos poucos a levar essa teoria a sério foi Albert Einstein, que baseado em Planck propôs em 1905 que a luz existe na forma de feixe de partículas para explicar efeitos fotoelétricos, que consiste na emissão de elétrons por materiais metálicos quando sobre eles incide um feixe de luz.

“Einstein tinha chegado a sua teoria especial da relatividade em parte rejeitando a visão de mundo de Newton e aceitando a validade das equações de Maxwell - mas, no mesmo ano, suas explorações sobre fótons e teoria quântica o levaram a rejeitar a descrição de Maxwell da luz e aceitar a visão de Newton [corpuscular e não de onda] como correta” (Gribbin, 2001, p. 87).

“Mais tarde, ele [Einstein] mostraria que aos quanta de luz poderia ser atribuído um *momentum* (ou quantidade de movimento), resultado este que reforçaria o fato de que tais fótons se comportavam como ‘partículas’ ” (Rocha, 2002, p. 311).

Niels Bohr, em 1913, também com base nos quanta, desenvolveu a proposta do seu modelo atômico, segundo o qual os elétrons que circundavam o núcleo mudariam de órbitas em saltos quânticos – de forma descontínua, tal que o elétron desaparece de uma órbita para aparecer em outra – emitindo ou absorvendo um quantum de luz, fóton, o que colaborou para discussão sobre a natureza do elétron, e conseqüentemente da luz.

Assim, até os anos 20 conviveram ambas teorias a respeito da natureza da luz: como onda e como partícula, pois diferentes experimentos comprovavam a possibilidade de ambas serem verdadeiras. “Esta observação o levou [Einstein], em 1924 a afirmar que havia duas teorias para a luz, ambas indispensáveis, porém sem qualquer conexão lógica” (Rocha, 2002, p.313).

A discussão da dualidade onda-partícula foi abordada por Louis De Broglie de forma diferente; ele argumentou que: “se coisas como a luz, que havia sido considerada uma onda, também se comportavam como partículas (fótons), talvez coisas consideradas partículas (elétrons e similares) devessem também ser consideradas ondas” (Gribbin, 2002, p. 96). Ou seja:

“Nem a visão ondulatória nem a visão corpuscular podiam sintetizar todos os estes aspectos [do comportamento dual da luz identificado em diferentes experimentos, sendo a luz a mesma em todas as experiências]: era necessário uma nova visão das coisas. Dever-se-ia admitir, como, por exemplo, declarava Louis de Broglie, que ‘o aspecto ondulatório da luz e o seu aspecto corpuscular são como que dois aspectos complementares de uma só realidade’? A física quântica [...] veio dar uma concepção unificada que mostrava essa complementaridade” (Klein e Lachize-Rey, 1996, p.71).

“Poucos anos após De Broglie [1923], a formulação matricial de Heisenberg [1925] e a equação de Schrodinger [1926] estruturaram teoricamente a mecânica quântica, substituindo as equações de Newton, não mais aplicáveis quando as dimensões são da ordem das dimensões atômicas ou inferiores” (Rosa, 2006, p. 126).

“Viu-se que essa dualidade é característica geral dos personagens quânticos: entes como elétrons, consagrados como partículas, se deslocam como se fossem ondas. Mostrou-se, aliás, que a idéia de trajetória, aparentemente óbvia para qualquer

projétil, não faz sentido no domínio quântico, onde as posições e velocidades de um objeto quântico não podem ser determinadas ao mesmo tempo. Isto foi expresso por Werner Heisenberger, em seu princípio da incerteza [em 1927]” (Menezes, 2005, p. 36).

O arcabouço da teoria quântica estabeleceu um conjunto de novas situações inusitadas para a mente mecanicista, mesmo àquela ampliada pelas perspectivas da relatividade. Entre elas estão:

- As partículas de dimensões atômicas ou sub-atômicas também se comportam como onda. “O problema onda-partícula não está na natureza, mas em nossa mente” (Hazen e Trefil, 1999, p. 120).
- Como alternativa a um modelo único, introduz-se o princípio da complementaridade [desenvolvido depois do princípio da incerteza, no sentido de ser mais amplo, tal que o da incerteza é um exemplo deste] por Niels Bohr em 1927, “de acordo com o qual uma descrição completa de um sistema quântico envolve, em geral, dois modelos conceituais aparentemente contraditórios” (Malin, 2003, p. 24).
- A natureza quântica é descontínua em seus valores – funciona através de quanta.
- No mundo quântico não se pode medir nada sem provocar uma mudança no que se mede, e o máximo que se pode esperar é uma previsão probabilística do estado quântico futuro ou passado (baseado em Hazen e Trefil, 1999, p. 117 e 118 e Greene, 2005, p. 26).
- No nível quântico “é possível haver um vínculo instantâneo entre coisas que ocorrem entre pontos muito distantes um do outro [...] Conexões quânticas a longa distância podem superar a separação espacial. [...] Algo que acontece em algum lugar pode estar conectado com algo que acontece em outro lugar ainda que nada viaje de um lugar ao outro – e ainda que não haja tempo para que qualquer coisa, até mesmo a luz, possa viajar entre os eventos” (Greene, 2005, p. 27 e 104).
- “Nas palavras de Henry Stapp, ‘uma partícula elementar não é uma entidade não-analisável que existe independentemente. Ela é, em essência, um conjunto de relações que se dirige para fora em direção a outras coisas’. [...] Enquanto que na mecânica clássica as

propriedades e o comportamento das partes determinam as do todo, a situação é invertida na mecânica quântica: é o todo que determina o comportamento das partes” (Capra, 1996, p. 42).

Do ponto de vista da mecânica quântica “o relógio cósmico de Newton, mesmo com o acerto que lhe foi dado por Einstein, é uma metáfora insustentável” (Greene, 2005, p. 102), a realidade torna-se probabilística, incerta e afetada pelo observador. Mais relevantes ainda são as inter-conexões espaço-temporais (não locais), que desafiam a visão clássica de realidade local, tal que o próprio Einstein classificou esse fenômeno como ‘fantasmagórico’ (baseado em Greene, 2005, p. 104). “As partículas subatômicas não têm significado enquanto entidades isoladas, mas podem ser entendidas somente como interconexões, ou correlações, entre vários processos de observação e medida” (Capra, 1996, p. 41).

E ainda, de acordo com o princípio da complementaridade, as explicações do elétron como partícula e como onda não são contraditórias, mas complementares – tal como propõe o princípio da dialógica do pensamento complexo. A incerteza passa a ser integrada na realidade física.

Assim como a relatividade gerou seus desdobramentos até a atualidade, o desenvolvimento nas pesquisas no mundo quântico continua até os dias de hoje. Mas desde suas primeiras contribuições o pensamento mecanicista simplificador se mostrou totalmente inadequado para lidar com as descobertas quânticas.

Abalos relacionados aos fenômenos bio-sociais

Biologia Evolucionista

“A palavra ‘biologia’ foi introduzida por volta de 1800 por três autores, de modo independente, mas descrevia algo que estava por vir, e não um campo já existente.” (Mayr, 2005, p. 20).

Conforme Mayr (*ibidem*, p. 39 e 40) a biologia consiste, em síntese, de dois ramos: a biologia funcional, que lida com a fisiologia de organismos vivos e, inicialmente, pode ter

seus processos funcionais explicados de maneira puramente mecanicista, com base na química e na física; e a biologia evolucionista, que lida a dimensão de tempo histórica, ou seja, com a evolução. O autor ainda afirma que o desenvolvimento desses ramos, e suas subdivisões, ocorreu no período de 1828 a 1866, mas considera que “a publicação de *A origem das espécies*, de Darwin, em 1859, foi de fato o princípio de uma revolução intelectual que ao final resultaria no estabelecimento da biologia como ciência autônoma”.

A teoria da evolução¹⁰³, de Darwin, abala os preceitos fisicalistas mecanicistas, principalmente em dois dos seus principais pilares: o determinismo radical que não aceita o acaso; e o reducionismo, que não percebe o valor das interações históricas.

Os dois conceitos principais na teoria da evolução são: variação, que considera modificações ao acaso na descendência comum; e seleção natural, que na realidade trata-se principalmente de um processo de eliminação dos menos adaptados, por terem menos chances de sobreviver e se reproduzir.

Deve-se considerar que apesar da proposta teórica de Darwin assentar-se na idéia de evolução gradual [tipicamente mecanicista], lenta e contínua, ela é, de certa forma, um grande avanço diante da mentalidade de um mundo dos seres vivos como ‘estático’, no sentido de uma ordem surgida e dogmaticamente estabelecida por Deus. A proposta evolucionista de Darwin também contribui para a noção de irreversibilidade do tempo.

A biologia se firma como sendo uma ciência que deve lidar com sistemas complexos: “Não há sistemas inanimados no mesocosmo¹⁰⁴ que cheguem sequer perto de ser tão complexos quanto os sistemas biológicos de macromoléculas e células” (Mayr, 2005, p. 44).

Com Darwin, o acaso entra como explicação científica para evolução de sistemas complexos e a idéia de irreversibilidade do tempo ganha uma perspectiva biológica, além da física.

Ecologia

¹⁰³ Darwin utilizava o termo ‘descendência com modificações’, e só passou a utilizar o termo evolução a partir da sexta edição da ‘A origem das espécies’, em 1872 (baseado em Steffoff, 2007, p. 83).

¹⁰⁴ Esse termo será melhor explorado à frente, e surge como intermediário das dimensões macro-cósmicas do universo e micro-atômicas da física quântica.

“A ecologia – palavra do grego *oikos* (‘lar’) – é o estudo do lar terra. Mais precisamente, é o estudo das relações que interligam todos os membros do lar terra. O termo foi introduzido em 1866 pelo biólogo alemão Ernst Haeckel, que o definiu como ‘a ciência das relações entre o organismo e o mundo externo circunvizinho’. Em 1909 a palavra *Umwelt* (‘meio ambiente’) foi utilizada pela primeira vez pelo biólogo e pioneiro da ecologia do Báltico Jakob von Uexkull” (Capra, 1996, p. 43).

Apesar de nascer com um conceito amplo envolvendo relações de animais e/ou vegetais com o meio inorgânico ou orgânico, incluindo nele outros seres vivos (de acordo com Pelt, 1990, p. 27), no início a noção de ecologia esteve associada à ‘super-organismos’ (conforme Capra 1996, p. 43). Até que foi introduzido o conceito de ‘ecossistema’ por volta de 1935 para caracterizar uma comunidade local de animais e vegetais, cujas propriedades não se encontram nos elementos isoladamente – posteriormente o foco passa para todo o conjunto de organismos vivos na terra. Esse conceito moldou todo o pensamento ecológico subsequente, promovendo uma abordagem sistêmica da ecologia, tal que a nova ciência da ecologia enriqueceu a maneira sistêmica de pensar por introduzir duas novas concepções: comunidade e rede (baseado em Capra, *ibidem*, e Morin, *in* Pena-Vega e Nascimento, 1999, p. 24).

Abalos relacionados aos fenômenos da humanidade

Movimento romântico

O movimento romântico, ou ‘romantismo’, foi um movimento cultural amplo, filosófico e artístico, que começou no final do século XVIII e floresceu nos primeiros anos do século XIX, sendo algumas de suas características a valorização dos sentimentos e maior importância ao todo que às partes (baseado em Abbagnano, 2007, p. 1017 e Rosa, 2006, p. 309).

Este movimento está associado a uma linha romântica de uma corrente filosófica denominada idealismo. Originou-se na Alemanha no período pós-Kantiano, e tem associado a ele escritores e poetas como Shlegel, Shiller e Goethe, e filósofos como Fichte, Shelling e Hegel. “Em reação contra o racionalismo da filosofia das luzes, põe-se a depreciar os valores racionais e enaltecer a imaginação, a intuição, a espontaneidade e a paixão. [... O

romantismo] passou a ser considerado um recurso nos momentos de crise do racionalismo” (Japiassu e Marcondes, 2006, p. 242).

“Poetas e filósofos românticos alemães retornaram à tradição aristotélica concentrando-se na natureza de forma orgânica. [...] A visão romântica da natureza como ‘um grande todo harmonioso’, na expressão de Goethe, levou alguns cientistas daquele período a estender sua busca de totalidade a todo o planeta, e a ver a terra como um todo integrado” (Capra, 1996, p. 36).

Enquanto o mecanicismo cultuava uma imagem do mundo como uma máquina, os pensadores do romantismo abordavam a natureza de forma orgânica, como um ser vivo, como na proposta contemporânea da hipótese Gaia.

Ciências da Humanidade

A reflexão sobre a natureza do ser humano e suas relações com os semelhantes, com as questões espirituais e com as estruturas sociais que ele mesmo criou, é tão antiga quanto a própria história, tanto que essas questões já são tratadas pelos antigos textos filosóficos (baseado na Fundação Gulbenkian, 1996, p. 15). Porém, os conhecimentos relacionados à humanidade, ao se depararem com os avanços da ciência física no século XVIII, encontram dificuldades de se estabelecerem de forma legítima e independente dos conhecimentos da natureza. Contudo, é desencadeada uma saga no desenvolvimento dos conhecimentos relacionados à humanidade, os quais buscam se consolidar de forma independente, mesmo não conseguindo destronar a hegemonia do pensamento mecanicista.

Após o século XVIII o termo ciência passou a ser associado primordialmente à ciência física da natureza:

“A chamada visão clássica da ciência, dominante desde há vários séculos, foi erigida sobre duas premissas. Uma delas foi o modelo newtoniano, segundo o qual existe uma simetria entre passado e futuro. Estava-lhe subjacente uma perspectiva quase teológica: a exemplo de Deus, nós podemos chegar a certezas, e por esse motivo não precisamos distinguir entre passado e futuro, uma vez que tudo coexiste num eterno presente [deterministicamente]. A segunda premissa foi o dualismo cartesiano, ou seja, o pressuposto de que existe uma distinção fundamental entre a

natureza e os seres humanos, entre a matéria e a mente, entre o mundo físico e o mundo social/espiritual” (Fundação Gulbenkian, 1996, p. 17).

Estabelece-se, então, que natureza e seres humanos são distintos e, conseqüentemente, possuem distintas áreas de conhecimento. As ciências da natureza, em especial a física, buscam estabelecer-se como única fonte de legitimidade intelectual, e por serem de definição mais clara, ocorre que, para as demais áreas do conhecimento – entendidas de certa forma com as ‘não ciências’ – o mundo nunca chegou a acordar um nome único (baseado na Fundação Gulbenkian, 1996, p. 20 e 21) :

“[As não ciências eram] umas vezes designadas por artes, outras vezes chamadas de humanidades, outras ainda de letras ou *belles-lettres*, e ainda outras vezes apelidada de filosofia, [ou] simplesmente ‘cultura’ ou [ainda] como sucede em Alemão *Geisteswissenschaften*, a alternativa à ‘ciência’ foi assumindo uma face e uma ênfase variáveis, uma falta de coesão interna que não foi de molde ajudar os respectivos praticantes a defender a sua causa junto às autoridades, principalmente se considerar a sua aparente incapacidade de oferecer resultados ‘práticos’.”

Associado ao momento de surgimento da sociedade moderna considera-se válida a polêmica idéia de Charles Percy Snow (1995, p. 18 a 21), inicialmente lançada em 1959, da existência de duas culturas: das ciências e das humanidades, mesmo que imbricadas de maneira complexa. Em um primeiro momento, a ‘ciência’ é um termo delimitado às ciências da natureza, restando às ‘humanidades’ abranger todos os fenômenos do gênero humano (tais como a arte, de uma maneira ampla, a filosofia, a religião e ainda, inicialmente, o conjunto de temas envolvendo as ‘naturais’ relações sociais – que mais tarde seriam tratadas como ‘ciências sociais’ desmembradas em diferentes disciplinas: sociologia, economia, história, ciência política, antropologia etc.).

Conforme a Fundação Gulbenkian (1996, p. 22 a 25) o estado moderno buscava conhecimentos mais precisos para basear suas decisões. As pressões devido às transformações político-sociais – em especial a Revolução Francesa – necessitavam de algo mais do que teorias respeitantes de uma ordem supostamente natural da vida social:

“Verificava-se, assim, não apenas existir um espaço para aquilo a que viríamos a chamar de ciências sociais, mas também uma profunda necessidade social no sentido

de seu surgimento. Além disso, parecia que, nesse esforço de organizar uma nova ordem social sobre uma base estável, quanto mais exata (ou ‘positiva’) fosse a ciência, melhor. Com esta idéia em vista, muitos daqueles que – sobretudo na Grã-bretanha e na França – começaram a lançar as bases das modernas ciências sociais na primeira metade do século XIX voltaram-se para a física newtoniana, tomando-a como modelo a seguir”.

O século XIX é marcado pelo processo de disciplinar e profissionalizar o conhecimento, criando disciplinas múltiplas, algumas de formas distintas de como se apresentam atualmente, e cada qual em seu domínio exigia uma investigação sistemática. Assim:

“No decurso do século XIX, as várias disciplinas como que se abriram em leque cobrindo toda uma gama de posições epistemológicas. Num dos extremos situava-se a matemática (uma atividade de natureza não-empírica), e logo encostadas a ela as ciências naturais experimentais (perfiladas por sua vez numa espécie de ordem decrescente segundo o respectivo grau de determinismo – a física, a química, a biologia). No extremo oposto achavam-se as humanidades (ou artes ou letras) começando pela filosofia ([considerada neste momento como] contraponto da matemática enquanto atividade não empírica), seguida do estudo das práticas artísticas formais (as literaturas, a pintura e a escultura, a musicologia), que na sua prática concreta se aproximavam muitas vezes da própria história, ao prefigurarem-se como uma história das artes. Por fim, entre as humanidades e as ciências naturais ficava o estudo das realidades sociais [...]” (Fundação Gulbenkian, 1996, p. 26).

Assim August Comte refere-se à uma física social e John Stuart Mill fala da ciência da natureza humana como uma ciência exata. Após meados do século XIX criam-se múltiplas disciplinas nas ciências sociais: “entre 1850 e 1945 houve, então, uma série de disciplinas que passaram a ser definidas como parte da área do conhecimento a que foi dado o nome de ‘ciências sociais’” (Fundação Gulbenkian, 1996, p. 50).

Existe, assim, um corpo de conhecimentos que se depreende das ‘humanidades’ para se enquadrar no conceito de ciência, as ‘ciências sociais’, que apesar de adotarem preceitos positivistas para sua legitimidade, ampliam as perspectivas científicas para tratar sistemas de grande complexidade dinâmica, tal que a partir de então se abrem discussões sobre métodos

científicos adequados a essas áreas de conhecimento, assim como, sobre a dinâmica de tais sistemas complexos.

Gestalt

“Na virada do século [XIX], o filósofo Christian von Ehrenfels caracterizou uma Gestalt afirmando que o todo é maior que a soma de suas partes, reconhecendo o que se tornaria, mais tarde, a fórmula-chave dos pensadores sistêmicos” (Capra, 1996, p. 42).

A psicologia da Gestalt surge como reação ao elementarismo das psicologias associacionistas, segundo cujas teorias se acreditava que a percepção era resultado da adição de sensações elementares. O exemplo clássico da Gestalt é a melodia, que não pode ser definida pela simples soma de notas musicais e pode ser executada sem perda de identidade em diferentes tons. O todo não constitui a soma das partes, é algo mais, de modo que uma pessoa pode ver três pontos em uma folha de papel e percebê-los como um triângulo, mesmo não havendo nenhuma informação adicional que sugira esse fato (baseado em Campos, 1997, p. 31).

A escola de Gestalt precisou o conceito de insight: “quando o sujeito encontra uma situação problemática e consegue estruturá-la, isto é formar uma gestalt, diz-se que ocorreu um insight, ou seja, discernimento ou compreensão súbita” (Campos, 1997, p. 32).

Na proposta da Gestalt o mecanicismo não se aplicava, e sua abordagem não-reducionista voltava-se para aspectos holísticos.

Teoria Freudiana

A psicanálise de Freud sempre teve como pano de fundo a criação de um modelo abstrato da mente, mas sempre acreditando que:

“[...] havia uma base fisiológica por trás de tudo. A idéia de que a mente era como uma máquina, que procurava funcionar com o máximo de eficiência, ao se livrar do excesso de energia, era típica do século XIX” (Osborne, 1993, p. 91).

Em 1895 Freud lançou uma teoria da mente, e em 1923 expôs uma teoria psicológica que foi amplamente aceita pela psicologia da sua época (baseado em Osborne, 1993, p. 91 e Abbagnano, 2007, p. 948).

É fato que a “psicanálise, enquanto teoria geral, exerceu importância gigantesca sobre as ciências sociais, a teoria cultural, a política sexual e as nossas atitudes em relação ao comportamento e o desenvolvimento do indivíduo” (Osborne, 1993, p. 158).

Apesar da influência mecanicista no seu pensamento, as questões do inconsciente estabeleceram novas perspectivas quanto ao entendimento de relações causais, assim como se desenvolveram novos métodos de “pesquisa científica”. Também, como decorrência das idéias de Freud, surgiram novas interpretações que modificaram as doutrinas fundamentais da psicanálise, entre elas a idéia de um inconsciente coletivo de Carl Jung.

“Copérnico, ao descobrir o universo heliocêntrico, deu considerável contribuição para que o velho pensamento medieval fosse substituído pelo Iluminismo. A descoberta de Darwin do princípio da seleção natural fez com que o mundo parecesse menos planejado e dirigido do que se pensava antes. E, no nosso século [XX], a obra de Freud e o desenvolvimento da mecânica quântica tornaram o mundo (ao menos superficialmente) menos racional (Hazen e Trefil, 1999, p. 17).

Abalos relacionados às explorações computacionais

Máquina Universal de Turing

“Alan Turing ousou perguntar se uma máquina pode pensar. [...] sua idéia, agora conhecida como ‘máquina de Turing’, foi publicada bem no fim de 1936...” (Hodges, 2001, p. 9 e 15).

Turing desenvolveu sua proposta de uma ‘máquina universal pensante’ tendo como referência uma mente humana em ação. Ele não foi o inventor do computador em si, mas do princípio da computação. Tanto assim que sua proposta inicial estava relacionada ao desenvolvimento de um dispositivo computacional abstrato, imaginário, seguindo regras lógicas, com a finalidade de identificar o que era possível de ser computável.

“A análise de Turing forneceu uma visão nova e profunda da antiga arte de calcular. A noção de computação passou a ser vista como abrangendo muito mais do que cálculos algébricos e aritméticos. E ao mesmo tempo, surgiu a visão das máquinas universais que, em princípio, podiam computar tudo o que é computável. Os exemplos de Turing de máquinas específicas são já exemplos da arte de programar, a máquina universal é o primeiro exemplo de um programa interpretativo” (Davis, 2004, p. 194).

A idéia de uma máquina computacional mecânica programável já havia sido idealizada pelo matemático do século XIX, Charles Babbage, mas é com Turing que se desenvolvem os princípios da computação moderna.

O foco de Turing no processo mental, um dos sistemas mais complexos conhecido, promoveu o desenvolvimento dos computadores digitais e programas sofisticados, que tornaram possíveis a melhor visualização e entendimento do comportamento de sistemas complexos em simulações virtuais.

APÊNDICE D

CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE – EXPLORANDO ALGUMAS PROPOSTAS

Ciências da complexidade: modelos matemáticos

Teoria da Catástrofe

Assim como a Teoria do Caos (apesar de sua divulgação anteceder a essa) sua denominação causou inicialmente grande impacto e interesse, possivelmente devido à idéia que seu termo evoca. Possui um conteúdo matemático-determinista e sua aplicabilidade é defendida por matemáticos (tal como Brown, 1995, p. 51) em função de ter evoluído com o uso de novos recursos matemáticos, além da sua proposta inicial, e de certa forma se aproximado da teoria do caos, fazendo parte da teoria da bifurcação no estudo da dinâmica de sistemas tal que se aplicaria em determinadas situações – não mais uma tentativa de abordagem generalista do frenesi inicial de sua proposta.

Seu propositos é o matemático René Thom, e segundo Simon (2001, p. 175), sua proposta surgiu por volta de 1968, tornando-se um modismo passageiro, e a idéia básica envolvia a demonstração matemática que, considerando dois estados de equilíbrio distintos de um sistema, uma pequena mudança em um desses estados pode provocar uma súbita mudança para outro estado de equilíbrio, ou para uma estado de instabilidade sem limites. O sistema se auto-organiza ao alcançar determinados níveis de parâmetros.

Baseado em Pessis-Pasternak (1993, p. 16 e 17), a abordagem de René Thom pretende ser inteiramente determinista, tal que sua preocupação não está no efeito perturbador do sistema, mas na dinâmica e nos estados finais que poderiam ser matematicamente determinados, e ainda, seu julgamento do acaso é de ser um ‘conceito vazio e sem interesse científico’, tal que o determinismo é uma conquista científica e, para Thom, os defensores do acaso são apóstolos da deserção da ciência.

Pode parecer estranho associar tal posicionamento à ‘complexidade’, mas a sua contribuição proveniente de estudos matemáticos de comportamento não linear, assim como, a idéia de mudanças qualitativas bruscas dependendo apenas da pequena variação de certos parâmetros,

além de refletir a busca da modelagem para caracterização de comportamentos complexos inspiraram o desenvolvimento de outros modelos para representação de comportamentos complexos – como a idéia de criticalidade auto-organizada.

Na gestão, pode-se associar a idéia que determinado parâmetro ao alcançar certa nível de intensidade pode provocar uma mudança qualitativa brusca no comportamento da organização.

Teoria do caos

“A relatividade eliminou a ilusão newtoniana sobre o espaço e o tempo absolutos; a teoria quântica eliminou o sonho newtoniano de um processo controlável de mensuração; e o caos eliminou a fantasia laplaciana da previsibilidade determinista. A revolução do caos aplica-se ao universo que vemos e tocamos, aos objetos em escala humana” (Gleick, 1990, p.5).

“A Teoria do Caos estuda o comportamento de sistemas que apresentam características de previsibilidade e ordem, apesar de serem aparentemente aleatórios. [...] A teoria do Caos é o estudo de comportamentos instáveis e aperiódicos em sistemas dinâmicos determinísticos não-lineares” (Gleiser, 2002, p.20 e 24).

“O caos é um regime dinâmico pelo qual podem passar os sistemas” (Guedes, 1999, p. 137).

A grande repercussão da teoria do caos nos de 1990 se deve, entre outras coisas, ao forte apelo emocional associado à palavra ‘caos’, que remete à idéia de uma desordem total, sugerindo a morte definitiva do determinismo. Este é um entendimento equivocado, tanto que, atualmente, ao se referir ao caos na abordagem científica, o mesmo é denominado ‘caos determinista’ – esse termo paradoxal reflete a idéia da teoria do caos: ordem por trás da desordem.

Para entender a proposta da teoria do caos faz-se necessário dissociar ‘determinismo’ de ‘previsibilidade’, duas palavras que desde a época de Laplace são consideradas sinônimas, tal que, em certas circunstâncias um sistema dinâmico pode ser determinista – no sentido de ser oriundo de uma determinada equação – e ter uma comportamento não previsível – no

sentido de se poder determinar exatamente a condição futura, distante no tempo, na qual o sistema vai estar.

A Teoria do Caos teve início com estudos computadorizados para previsão do tempo em torno de 1960, com Edward Lorenz. Mas, curiosamente, foi devida não ao conteúdo do que se estava estudando, mas ao processo de cálculo computacional que foi repetido utilizando-se um pequeno ‘arredondamento’ dos dados, que provocaram grandes divergências na dinâmica dos resultados ao longo da sequência de cálculos. Esta sensibilidade às condições iniciais recebeu o nome de ‘efeito borboleta’.

A publicação da descoberta de Lorenz em 1963, na página 130 do volume 20 do *Journal of the Atmospheric Sciences*, não ganhou notoriedade imediata, até o trabalho ser acessado em 1972 pelo matemático James Yorke, que, inclusive, foi o responsável por cunhar o nome ‘ciência caos’ ao publicar seu artigo na ‘American Mathematical Monthly’ intitulado: “o período três subentende o caos” (baseado em Gleick, 1990, p. 28, 61 e 62)

Stephen Smale, também nos anos 60, independente de Lorenz, percebeu de forma visual a dependência sensível às condições iniciais. Para isso, utilizou modelos topológicos que, não despertaram inicialmente tanto interesse aos físicos, por serem considerados demasiadamente artificiais e abstratos. No início dos anos 60 os avanços matemáticos não eram devidamente considerados pelos físicos, pois estas áreas de conhecimento estavam divorciadas desde os anos 30. Já no final dos anos 60, os físicos e biólogos sabiam que deviam se inteirar das novidades no campo da matemática (baseado em Gleick, 1990 p. 40 a 48).

Assim, em meados dos anos 80 o caos se difundiu e ganha notoriedade no meio acadêmico., tanto que são criados centros de estudo e Institutos para pesquisar e discutir a ‘dinâmica não-linear’ e os ‘sistemas complexos’, com base na teoria do caos (baseado em *ibidem*, p. 34).

“A teoria do caos é resultado de uma síntese de matemáticos imaginativos e do acesso sem dificuldades de computadores potentes” (Hall, 1993, p. 8). Sendo que, cada vez mais, os cientistas estão cautelosos na sua supervalorização e aplicação generalizada:

“De maneira similar ao que ocorreu com a teoria da catástrofe de René Thom – que foi a primeira intenção de se estudar matematicamente certos fenômenos complexos

– há quem espera que o estudo do caos permita explicar os mistérios das grandes transformações sociais ou a relação entre as redes neurais e a psicologia, e também tem-se desencadeado especulações formidáveis sobre o significado do tempo e da desordem no universo. É muito benéfico a extensão dos descobrimentos realizados em campo de conhecimento para outras áreas, mas quando se trata, por exemplo, do comportamento humano, individual ou coletivo, que tem uma complexidade incomparavelmente maior que os sistemas físicos, esta extensão deve ser feita com muita prudência, em geral só pode ter um caráter de analogia” (Sametanb, 1999, p. 8)

Uma das idéias do caos é “Uma lei simples... um comportamento complexo” (Berge *et al*, 1996, p.63), ou seja, equações matemáticas simples podem gerar resultados aparentemente aleatórios devido à sensibilidade as condições iniciais em dinâmicas não-linearidades.

A equação clássica para ilustração do caos é a equação logística baseada em diferenças finitas, criada por matemáticos e explorada por biólogos, que tratavam as populações como sistemas dinâmicos. Os ecologistas ao estudarem a biologia populacional utilizavam-se de modelos matemáticos que deveriam chegar ou ao equilíbrio ou ao desaparecimento da população. Ecologistas, na década de 50, utilizaram variações da seguinte equação, denominada de ‘equação logística’: $x_{t+1} = R x_t (1 - x_t)$, onde ‘R’ representa a taxa de crescimento e ‘x’ a quantidade populacional. Mas, apesar de terem introduzido a não-linearidade no seus modelos matemáticos a única coisa que procuravam era o equilíbrio, não lhes ocorreu que não poderia haver o equilíbrio, não quiseram ver o caos (baseado em Gleick, p.56 a 61).

Robert May, biólogo, físico com pós-doutoramento em matemática e amigo de Yorke, estudou uma versão da equação logística considerando a taxa de crescimento, ou seja, o parâmetro não-linear, em condições críticas. Utilizou um diagrama de bifurcação para demonstrar os resultados. Assim, acima de determinado valor da taxa de crescimento (‘R’), a população varia entre ciclos periódicos cada vez maiores, ou seja, modificava seus padrões de repetição em um número crescente de ciclos, os chamados pontos de bifurcação no gráfico. Até que, acima de determinado valor, a periodicidade dava lugar ao caos efetivo, surgindo variações que nunca se fixavam. Lembrando que, foi James Yorke que analisou esse comportamento com rigor matemático. “No ocidente. Yorke e May foram os primeiros

a sentir todo o choque da duplicação dos períodos e a comunicá-los à sociedade” (baseado em Gleick, p.65, 66 e 72).

Assim, a variação desse ‘modelo matemático’ ocorre em função do parâmetro ‘R’, e está ilustrado na figura xx:

- ⇒ $R < 3,0000$ o sistema tende a um valor fixo
- ⇒ $3,0000 < R < 3,4495$, ciclo de período 2
- ⇒ $3,4495 < R < 3,5441$, ciclo de período 4
- ⇒ $3,5441 < R < 3,5688$ ciclo de período 8
- ⇒ $3,5644 < R < 3,5688$ ciclo de período 16
- ⇒ R próximo de 3,5700 ocorrem períodos 2^n
- ⇒ $R > 3,5700$ Caos, onde existe ao lado de resultados aleatórios alguns períodos de comportamento em ciclos, que ocorrem de forma intermitente – também denominados de janelas de ordem no caos.

Fig xx: Dinâmica não linear da equação logística (fig 1.31 e 1.32 de Kaplan e Glass, 1995, p. 31 e fig. 11 de Cambel, 1993, p. 119)

Criar matematicamente o caos não bastava, desejava-se entender o comportamento caótico do sistema. Para tanto recorreu-se a idéia de Henri Poincaré, do uso do conceito de ‘espaço de fase’ para entender a dinâmica de sistemas complexos, o que levou-o a criar a ‘topologia’, um novo ramo da matemática com base na geometria:

“O método consiste em descrever o estado de um sistema por meio de variáveis do estado (que podem ser posição, velocidade, aceleração e outras, exceto o tempo) cujos valores se assimilam aos sucessivos pontos de uma trajetória que obedece uma regra dinâmica: se o estado corrente é este então o próximo será aquele.[...] De fato a totalidade do desenvolvimento temporal do sistema fica registrada como uma fotografia. (Guedes, 1999, p. 45 e 46).

“Relacionar topologia com sistemas dinâmicos é criar a possibilidade de usar uma forma para ajudar a visualizar toda gama de comportamento de um sistema [...] Se pudermos visualizar a forma, podemos compreender o sistema” (Gleick, 1990, p.43).

Ao representarmos um estado do sistema como um ponto ‘P’ no espaço de fase, estamos associando as informações do estado do sistema a uma coordenada no espaço de fase. Proporciona-se, assim, uma maneira de transformar números em imagens, para melhor entendimento da evolução dos estados um sistema dinâmico. Assim uma vantagem de se ver os estados de um sistema como pontos no espaço é que isso torna mais fácil a observação da mudança. Sistemas simples, como o movimento de um pêndulo, apenas duas variáveis são necessárias, sua posição e velocidade, e sua representação pode ser realizada em um gráfico cartesiano (baseado em *ibidem*, p.45/135/136/139).

Os sistemas dinâmicos representados por estados de fase ao apresentarem determinados padrões de comportamento, o formato do conjunto de pontos de fase que circunscreve o comportamento do sistema é denominado de atrator. Tal que, Ruelle (1993, p.87) descreve um atrator como: “o conjunto sobre o qual se move o ponto P que representa o estado de um sistema dinâmico determinista quando aguardamos bastante tempo”. Assim, um sistema caótico pode ser estável se o seu padrão singular de irregularidade perdurar diante de pequenas perturbações. Assim, um sistema dessa natureza era localmente imprevisível mas globalmente estável.

“Para os pesquisadores do caos a matemática tornou-se uma ciência experimental, com os computadores substituindo os laboratórios cheios de tubos de ensaio e microscópicos. Imagens gráficas são a chave” (Gleick, 1990, p. 34).

A fig xx apresenta três tipos de atratores: (A) quando $R < 3$, tem-se o atrator pontual, ou de ponto fixo; (B) quando $3 < R < 3,57$, tem-se o atrator cíclico, ou de ciclo limitado; (C) para $R > 3,57$, tem-se atratores estranhos.

Fig xx: Atratores

Os atratores estranhos possivelmente são o principal conceito da teoria do caos. Refletem um tipo de ordem na aparente desordem.

“A Teoria do Caos produz uma conclusão bastante clara. Qualquer sistema governado por leis não lineares, iterativas e recursivas, pode demonstrar comportamento do tipo atrator estranho em certos valores de parâmetros. Quando seguindo um atrator estranho, seu comportamento é previsível no nível de descrição global, macro, mas em termos qualitativos” (Stacey, 2003, p. 46).

Na realidade, conforme Willians (2006, p.229 a 233) existem cinco tipos de ordem por trás do caos determinístico:

1. A rota para o caos que se desenvolve em atratores cíclicos, dobrando os períodos de ciclicidade nos chamados pontos de bifurcação.
2. As janelas na região do caos, que surgem também de forma intermitente, onde ocorrem atratores cíclicos.
3. O atrator estranho ou caótico, que estabelece uma região no espaço de fase na qual o sistema permanece dentro de certos limites e que caracteriza qualitativamente o comportamento caótico desse sistema.
4. Regiões de maior ‘popularidade’ dentro do atrator caótico, ou seja, existem espaços mais visitados durante a evolução do sistema.
5. A estrutura dos atratores estranhos tendem a ser fractal – mas nem todos são, ao contrário da afirmação de certos autores (geometria fractal será discutido no próximo item)

Observando a dinâmica gerada pela equação logística: “Para um dado valor do parâmetro $[R]$, a ordem se desenvolve espontaneamente, isto é, sem causa externa. Tal desenvolvimento espontâneo parece ser uma classe de um interessante processo chamado ‘auto-organização’ (Williams, 2006, p.233).

Sob determinadas condições, onde existem fatores externos atuando no sistema, a dinâmica dos sistemas pode se alterar, e a forma do atrator estranho pode mudar com o tempo, surgindo novos padrões qualitativos de sistema.

Fractal

“Enquanto os primeiros atratores estranhos estavam sendo estudados nas décadas de 60 e 70, uma nova geometria, denominada “geometria fractal”, foi inventada independente da teoria do caos. Essa geometria iria fornecer uma convincente linguagem matemática para descrever a escala fina dos atratores caóticos. O autor dessa nova linguagem é o matemático francês Benoit Mandelbrot” (Capra, 1996, p. 118).

Os objetos geométricos chamados de fractais por Mandelbrot possuem uma característica especial: auto-similaridade, ele definiu fractal da seguinte forma (Barbosa (a), 2002, p.18): “Um fractal é uma forma cujas partes se assemelham ao seu todo sob alguns aspectos”, tal

que, suas partes em qualquer escala são semelhantes ao todo. Assim, Maldebrot definiu Para entender um fractal é melhor visualizá-lo, a fig xx apresenta um fractal dos mais simples (A), conhecido como ‘flocos de neve de Knoch’ e um outro (B) mais elaborado simulando a formação de uma samambaia. Existem vários outros modelos de fractais elaborados por Maldebrot.

Figxx: Fractal – flocos de neve de Knoch esimulação de formação de uma samambaia (baseado nas figuras 6.13 e 6.14 de Capra, 1996, p. 120 e 121).

“A geometria dos fractais está intimamente ligada à uma ciência chamada caos [mesmo que quando inventada não se estava ciente das conexões com o caos, especificamente com a geometria de atratores estranhos]. As estruturas fragmentadas, extremamente belas e complexas dessa geometria, fornece uma certa ordem ao caos, razão de ser, às vezes, considerada como sua linguagem, que busca padrões dentro de um sistema por vezes aparentemente aleatório.”(Barbosa (a), 2002, p. 9).

“Outro elo importante entre a teoria do caos e a geometria fractal é a mudança de quantidade para a qualidade” (Capra, 1996, p. 119). Esse padrão qualitativo também é associado à idéia de auto-organização.

Ciências da complexidade: fenômenos da natureza – físico-químicos

Estruturas dissipativas (termodinâmica do não-equilíbrio)

“A termodinâmica foi estendida a situações de não equilíbrio ou afastadas do equilíbrio. Nestas condições, a dissipação de energia num sistema permite por vezes observar a criação de uma ordem local. Ilya Prigogine descreveu essas estruturas, a que chamou de estruturas dissipativas. Um exemplo é o das reações químicas oscilantes no tempo e no espaço, para as quais as concentrações são funções periódicas do tempo” (Spire, 1999, p. 176).

Prigogine e seus colegas da universidade de Bruxelas estudaram diversos fenômenos físico-químicos que apresentaram padrões auto-organizados em estados longe do equilíbrio. Entre eles tem o efeito de convecção conhecido como ‘instabilidade de Bernad’ – que consiste em aquecer uma fina camada liquido a partir da parte de baixo, mantendo um gradiente entre a parte de cima, tal que, quando a diferença de temperatura atinge um determinado valor emerge um padrão ordenado no sistema. As reações químicas conhecidas como ‘Belousov-Zhabotinski (BZ) também geram diferentes comportamentos auto-organizados em diferentes condições experimentais (baseado em Capra, 1996, p. 80 a 82). A figura 41 ilustra exemplos dessas situações.

Figura 41: Auto-organização físico-química de Prigogine (fig. 3 e fig.9 de Nicolis e Prigogine, 1989)

A teoria de Prigogine permite considerar conceitos originários do Caos, tais como:

- Bifurcação e sensibilidade às condições: Pontos de bifurcação são pontos de instabilidade do sistema no qual uma nova ordem pode emergir, tal que um novo atrator pode aparecer subitamente. No ponto de bifurcação a estrutura dissipativa mostra uma sensibilidade extraordinária à pequenas variações – flutuações – do ambiente, tal que, uma previsão determinista desmorona nesse ponto. Não se sabe qual a escolha que será feita pelo sistema no ponto de bifurcação, ou seja, sua predição tem um caráter probabilístico.
- Esquecimento das condições iniciais: A dinâmica evolucionista tem uma história relevante, principalmente ao alcançar os pontos de bifurcação, mas em um determinado estágio ela não apresenta a memória das condições iniciais, tal que traz a noção de irreversibilidade do tempo.
- Atratores estranhos: Os atratores são entendidos como recursos de modelização para conhecer a dinâmica da ordem fora do equilíbrio.

Sinergética

Praticamente na mesma época em que Ilya Prigogine efetuava suas descobertas sobre a não-linearidade relacionada à sistemas auto-organizados – por volta de 1960 –, Hermann Haken, na Alemanha, teve uma percepção muito semelhante ao estudar a física dos, então, recém inventados *LASERS* (*Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation*) – que consiste na emergência de um resultado coerente de luz monocromático e contínuo, a partir de um conjunto desordenado de diferentes ondas luminosas quando um fator externo de energia atinge um valor crítico (baseado em Capra, 1996, p.83 e 84).

Haken introduziu o termo ‘sinergética’ para o campo de estudo desses fenômenos nos sistemas que se auto-organizam afastados do equilíbrio, tal que, nestes emergem características qualitativamente novas para o todo o sistema que não estão presentes nas partes, considera, assim, que “sinergética pode ser considerada uma teoria da auto-organização” – Haken também define esse campo de estudo como ciência da cooperação (baseado em Haken *in* Minati e Peesa 2002, p. 4).

“Haken chegou independentemente a uma descrição precisa de um fenômeno auto-organizador do tipo que Prigogine chamaria de estrutura dissipativa” (Capra, 1996, p. 84). Assim, envolvem as mesmas questões relacionadas às estruturas dissipativas.

Ciências da complexidade: fenômenos da natureza – bio-sociais

Sincronismo

A observação com sincronismo ocorreu, pelo menos em aspecto científico, com a preocupação do físico alemão Christian Huygens – por volta de 300 anos atrás – com a sincronização natural de dois relógios de parede, do tipo clássico com pêndulo, quando próximos – devido as suas vibrações provocarem um efeito de sincronismo.

Entretanto, foi a preocupação com a sincronização de elementos da natureza viva que chamaram a atenção de Steve Strogatz por volta dos anos 90, tais como: a sincronia do piscar em grupo de determinados tipo de vaga-lumes, do canto de grilos e até de células do coração. Isto fez com que ele, depois conjuntamente com Duncan Watts, procurasse como esse padrões se desenvolviam por meio das interações das partes, utilizando explorações virtuais – simulações por computadores (baseado em Buchanan, 2002, p.49 e 50).

Essas idéias de sincronização estão diretamente relacionadas com a questão de auto-organização, e se desenvolveram de maneira co-evolutiva com a teoria de *network*, em especial a proposta de *small-worlds*.

Teoria Gaia

A idéia de Gaia, que considera o planeta Terra como um sistema vivo, remonta a mitologia grega. Mas, foi com James Lovelock que essa idéia ganha interesse científico inicialmente como ‘Hipótese Gaia’, na qual seus aspectos auto-organizadores e a abordagem sistêmica co-evolutiva, e não apenas adaptativa, fazem a Terra ser vista como uma entidade auto-reguladora – enunciada publicamente a partir de 1971 (baseado em Capra, 1996, p. 92 e 93 e Lovelock, 2006, p.12).

“Quando os cientistas nos dizem que a vida se adapta a um meio ambiente essencialmente passivo de química, física e rochas, eles perpetuam uma visão seriamente distorcida. A vida, efetivamente, fabrica e modela e muda o meio ambiente ao qual se adapta. Em seguida, esse ‘meio ambiente’ realimenta a vida que está mudando e atuando e crescendo nele. Há interações cíclicas constantes” (Lovelock *in* Capra, 1996, p.94).

A Hipótese Gaia estabelece uma visão de co-evolução, em um processo recorrente, tal que não se trata de uma proposta teleológica, como argumentam seus críticos. Hoje existe grupos de cientistas trabalhando para estabelecer formulações detalhadas sobre a ‘Teoria Gaia’, utilizando-se sistemas computacionais com ‘modelos baseados agentes’.

Equilíbrio pontuado na evolução

Por trás da teoria da evolução de Darwin existe a idéia de variação e seleção ocorrendo de forma gradual ao longo da evolução dos sistemas vivos. Mas Niles Eldridge e Stephen Jay Gould argumentam que a teoria de Darwin não é completa pois não explica catastróficas extinções e explosões de vida ao longo da história da terra.

Assim, do ponto de paleontológico, sugere-se que existe uma evolução gradual com momentos de grande transformação, tal que a evolução obedeceria uma lei de potência. Desta forma parece haver uma complexa forma de auto-organização.

Inteligência coletiva dos insetos/ animais

O estudo de atividades coletivas organizadas de insetos, na busca de padrões de interações que justifiquem coletividades organizadas, tem sido fonte de inspiração para desenvolvimento de simulações computacionais que explique comportamentos coletivos de forma generalizada.

A principal referência tem sido o estudo de colônias de formigas.

“As formigas não oferecem instrução moral, mas mostram como partes simples compõem sistemas vivos complexos, e como esses sistemas se conectam com o mundo externo. [...] Observando formigas em colônias e ao mesmo tempo

observando colônias em populações, vemos como as camadas de um sistema natural se ajustam” (Gordon, 2002, p. 136).

Apesar do estudo direto do comportamento das formigas pode ter suas limitações para extrapolação dos fenômenos observados, com a simulação computacional (*swarm intelligence*) pretende-se identificar as regras que envolvem simples agentes no comportamento coletivo que exprime flexibilidade e robustez do sistema, para que com isso possa se estabelecer uma boa metáfora social.

Aqui estão envolvidos conceitos de autonomia, auto-organização e emergência que se contrapõem com a idéia de controle, programação e centralização. (baseado em Bonabeau *et al*, 1999, p. xi).

Ciências da complexidade: fenômenos da humanidade - econômico-organizacional

Six Degree

Um dos estudos mais curiosos da área de psicologia social, foi realizado por Stanley Milgran, em 1967, e gerou uma regra que se tornou bastante popular: “seis graus de separação” (*six degree*), a qual associa-se a idéia que qualquer pessoa no mundo está no máximo seis pessoas de distancia de outra – tal que uma conhece outra, que conhece outra.... tal que no final a distância de conexões é muito menor do que podia se imaginar (baseado em Barabasi, 2003, p. 27 e Buchanan, 2002, p. 13).

Apesar do seu estudo ter sido realizado dentro dos EUA, e seu sistema de pesquisa envolveu cartas de correio que podem ter distorções, é surpreendente o fato de se perceber que as pessoas estão em ‘mundo pequeno’, muito mais próxima do que se pode imaginar, e que coincidências de se encontrar pessoas conhecidas em comum não é tanta coincidência assim.

O fenômeno envolve padrões de *network* que são muito mais comuns na vida real do que se parou para pensar até então. Outras experiências sociais para identificar a distância entre conexões de pessoas dentro de diferentes grupos sociais foram feitas por Milgran, que segundo consta publicou seu artigo final sobre *Small-World* em 1970, e os resultados foram semelhantes, a distância é muito menor que o senso comum imagina. Essa questão, entre

outras, serviu para aguçar futuras pesquisas sobre a dinâmica de sistemas pelo enfoque de *networks*.

Importância dos Links Fracos

“Stanley Milgran tinha publicado seu artigo final sobre o fenômeno Small-World apenas três anos antes e, como muitos sociólogos do seu tempo, Granovetter estava fascinado, até mesmo estupefato, pela descoberta de Milgran. Mas, diferente da maioria, ele tinha uma intuição sobre qual poderia ser o segredo do Small-World”. (Buchanan, 2002, p. 41).

Granovetter propôs que o desenvolvimento de caminhos curtos dentro de redes sociais não se deve ao links fortes, estabelecidos por amigos próximos e familiares, mas por links fracos, entre conhecidos apenas, que fazem o papel de pontes sociais. Seu artigo publicado em 1973 era intitulado: ‘A força do elos fracos’.

Esta proposição representa bem o que acontece na realidade, onde grupos relativamente fechados possuem participantes que conhecem, eventualmente, participantes de outros grupos relativamente fechados. São esses links fracos que criam a dinâmica da rede social. Granovetter constatou isso através de uma pesquisa social sobre contactos que geraram empregos, e constatou que apenas 16% vinham de links fortes, ou seja, 84% vinham de links fracos.

Outra contribuição de fenômenos sociais para a construção da teoria de *networks*.

Ponto do desequilíbrio (tipping point)

Este termo tem sido utilizado para caracterizar qualquer processo que, ao alcançar determinado ponto, a taxa de mudança desse processo muda drasticamente, ou seja, “pequenas e aparentemente insignificantes mudanças podem ter consequências desproporcionais” (Buchanan, 2002, p.158).

Essa idéia foi popularizada pelo livro com o título do termo de Gladwell (2002). Essa idéia explicada pela presença de conectores que contribuem para a discussão do ponto de vista da teoria de *network*.