

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

MARIA SILENE ALEXANDRE LEITE

PROPOSTA DE UMA MODELAGEM DE
REFERÊNCIA PARA REPRESENTAR SISTEMAS
COMPLEXOS

Florianópolis –SC

2004

MARIA SILENE ALEXANDRE LEITE

**PROPOSTA DE UMA MODELAGEM DE REFERÊNCIA
PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr.

Co-Orientadora: Prof^a Christianne C. de S. R. Coelho, Dra.

Florianópolis –SC

2004

L533p Leite, Maria Silene Alexandre

Proposta de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos / Maria Silene Alexandre Leite; orientador Antonio Cezar Bornia. – Florianópolis, 2004.

420f f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2004.

Inclui bibliografia.

1. Modelagem de sistemas. 2. Ciência da complexidade. 3. Cadeia de suprimentos. I. Bornia, Antonio Cezar. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

CDU: 658.5

MARIA SILENE ALEXANDRE LEITE

**PROPOSTA DE UMA MODELAGEM DE REFERÊNCIA
PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS**

Essa tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção no Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, SC, 22 de dezembro de 2004.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr.
Orientador

Prof^a. Christianne Coelho R. S. Coelho, Dra.
Co-Orientadora

Prof. Alfredo Iarosziski Neto, Dr.
Avaliador Externo

Prof^a. Márcia Cristina Esteves Agostinho, Dra.
Avaliador Externo

Prof. Francisco Pereira Fialho, Dr.
Membro Moderador

“Para ser grande, sê inteiro: nada
teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa.
Põe quanto és
no mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
brilha, porque alta vive.”
Ricardo Reis, (1933)

DEDICATÓRIA

À minha mãe **Guilhermina A. Leite**, pelo exemplo de fé, de coragem, de doçura e de determinação que é para mim.

Ao meu pai **Zitor Leite** (*in memoriam*), pela bravura que sempre demonstrou nos seus atos que me inspiram, me orgulham e impressionam.

Para **Carlos M. Lôbo Cruz**, pelo amor que compartilhamos.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Antonio Cezar Bornia, ao qual devo minha aceitação no doutorado, pela confiança no meu trabalho, pela amizade, pela paciência, pelas discussões técnicas e pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

À prof^a. Christianne Coelho de S. R. Coelho, pela generosidade em ajudar, por disponibilizar material técnico, pelas diversas conversas, pelo apoio emocional, pela bondade, pela amizade e pela fé no meu trabalho.

Ao prof. Alfredo Iarosziski Neto, avaliador externo do trabalho, pelas valiosas contribuições dadas no exame de qualificação do trabalho, pela disponibilização de tempo, em várias oportunidades, para discutir o meu trabalho e pela orientação em momentos de dúvidas.

À prof^a. Márcia Esteves Agostinho, avaliadora externa do trabalho, pelas importantes sugestões e arguições feitas na data da defesa, que contribuíram para aprimorar este trabalho.

Ao prof. Francisco Pereira Fialho, moderador do trabalho na defesa final, pelo primoroso trabalho e pelas valiosas intervenções feitas.

À prof^a. Dilza Maria Rodrigues Maia Esmeraldo, a quem devo minha iniciação acadêmica, pela confiança, pela amizade e pelo apoio constante ao meu desenvolvimento profissional.

Ao prof. Aloisio da Silva Lima, o qual admiro pela seriedade com que se dedica a educação, pelo valor que percebe nas pessoas, pelo incentivo, pela atenção e pela confiança que sempre me dedicou.

Ao Carlos M. Lobo Cruz, pelo amor, pelo companheirismo, pelo apoio, pela paciência, pelo cuidado e pelas contribuições técnicas na finalização do trabalho.

À FUNCAP (Fundação Cearense de Amparo a Pesquisa), pela concessão de uma vaga de sua cota de capacitação docente junto à URCA (Universidade Regional do Cariri), que financiou a maior parte do meu período de doutoramento.

Ao Hotel *Blue Tree Towers* – Florianópolis (SC), na pessoa do Sr. Hugo Backer, que possibilitou a aplicação da modelagem proposta. À Qualivida, na Pessoa da Sra. Eda, pela disponibilização das informações sobre a empresa e à Amplestur, na Pessoa do Sr. Zunino, por possibilitar e facilitar o acesso às informações necessárias a validação deste trabalho.

À Sônia Maria Medeiros, Governanta do Blue Tree Tower – Florianópolis (SC), pela gentileza e disponibilidade para me atender, e ao Rafael Leite, Supervisor da Recepção, por ter atendido-me prontamente, sempre que precisei. A todos os funcionários que disponibilizaram parte do seu tempo para atender às necessidades da pesquisa, muito obrigada.

À Rosangela Herculano Clementino, pela amizade, pelo carinho e pela atenção à distância, durante o período do doutorado.

Aos amigos Ana Paula Matos de Melo, Carmem Nóbrega, Cristiane França, Conceição Cavalcanti, Rosimary Fonseca e Carlos Araújo, que me incentivaram na decisão de iniciar o doutorado.

Aos amigos Valdirene Gasparetto, Elizabete Sanches, Ângela Corrêa, Luiza Rebelo, Roseli Resende, Simone Galvão, Maria Bernadete, colegas das “bairros”..... muito obrigada pelo apoio e carinho recebidos.

À minha família por cuidar de mim, mesmo à distância.

A DEUS, por me guiar neste projeto.

RESUMO

Esta tese propõe uma modelagem de referência para representar sistemas complexos, com base no referencial teórico das Ciências da Complexidade. Inicialmente, faz-se uma revisão de literatura sobre o termo complexidade, os sistemas, a evolução e a modelagem dos sistemas complexos. Com base na literatura pesquisada, é proposta a modelagem referencial, na qual a partir da identificação do nível de complexidade do sistema, localiza-o numa escala espaço-temporal, construindo-se uma arquitetura para o sistema, e finalmente, define-se a dinâmica de seu funcionamento. A modelagem baseia-se no pressuposto que as partes e o todo de um sistema se conectam e interagem continuamente. Dessa dinâmica, emergem características não possuídas pelas partes isoladas. Conectando o paradigma sistêmico e as Ciências da Complexidade aos objetivos da Engenharia de Produção, associou-se a lógica de formação e funcionamento das Cadeias de Suprimentos à lógica funcional dos sistemas complexos, apresentando um capítulo de revisão bibliográfica sobre o tema. A proposta foi validada, por meio de sua aplicação em parte de uma cadeia de suprimentos imediata. Constatou-se que, a modelagem pode auxiliar as empresas no processo de formação de cadeias de suprimentos, por meio da determinação de critérios de seleção para o estabelecimento de parcerias, pela identificação das condições iniciais de cada empresa componente da cadeia, tais como: posição no mercado, estágio do ciclo de vida em que está situada, espaço de possibilidades que possui, bem como pelo desenvolvimento de uma arquitetura e de uma dinâmica adequadas as características das empresas que formam a cadeia de suprimentos. Além disso, concluiu-se que, a modelagem com base no paradigma sistêmico e orientado pelos conceitos das Ciências da Complexidade, contribui para evidenciar os relacionamentos mais importantes e os mais problemáticos nas empresas, expondo as interações competitivas e as cooperativas.

Palavras-Chave: Modelagem de Sistemas. Ciências da Complexidade. Cadeia de Suprimentos.

ABSTRACT

This thesis proposes a reference modeling to represent complex systems, based on the theoretical referential of complexity sciences. First, it was made a literature review about the term complexity, the systems, the complex systems evolution and the modeling of complex systems. Based on the literature reviewed, it was proposed the referential modeling, in which, from identification of the complexity system level, the system in a time-space scale was localized, an architecture to the model was built and finally was defined the functional dynamic. The modeling is based on the presupposition that the parts and the entire of a system are connected and continually interacted. From this dynamic rose out characteristics that the isolated parts hadn't presented. Connecting the systemic paradigm and the complexity sciences to the Production Engineering objectives, were associated to the formation logic and to the formation of Supplies Chains to the functional logic of complex systems, presenting a chapter of bibliography research about the theme. The proposal was partially validated, by its application in part of an immediate supplies chain. It was noted that the modeling can help enterprises in the formation process of supplies chains, by determination of criteria to established partnerships by the identification of the initial conditions of each compounding enterprise of the chain, such as, market positions, life cycle stage that is placed on, fitness landscape that it has, as well as the development of architecture and an adequate dynamic to the enterprises that from the supply chain. Furthermore, it was concluded that the modeling based on the systemic paradigm and oriented by the complexity sciences concepts contributed to make evident the most important relationships and the most problematical in the enterprises, exposing the competitively interactions and the cooperative ones.

Key-words: Systems Modeling. Complexity Sciences. Supplies Chain.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Roteiro da Pesquisa	41
Figura 2: A Sistemografia.....	139
Figura 3: Diagrama espaço-tempo do autômato celular de 1-d.....	162
Figura 4: Matriz de Análise Estrutural	173
Figura 5: Representação do princípio MICMAC	174
Figura 6: Interação analisada pelo MICMAC	175
Figura 7: Construção da Matriz de Análise Estrutural	176
Figura 8: Plano autonomia-dependência	177
Figura 9: Representação das relações entre os conceitos da lógica de funcionamento da modelagem.....	191
Figura 10: Cadeia de Valor Genérica.....	210
Figura 11: Sistema de valores associado ao conceito de cadeia de suprimentos.....	214
Figura 12: Estrutura de uma cadeia de suprimentos	216
Figura 13: Representação de uma <i>Supply Chain</i> (SC).....	217
Figura 14: Cadeias de suprimentos interna, imediata e total	218
Figura 15: Exemplo de uma cadeia produtiva de móveis	225
Figura 16: Competição entre as unidades de negócios virtuais.....	231
Figura 17: Seqüência de fases e etapas necessárias para a modelagem de um sistema complexo.....	262
Figura 18: Escala espaço-temporal do sistema.....	282
Figura 19: Representação da arquitetura do sistema.....	288
Figura 20: Influências recebidas pela dinâmica do sistema.....	293
Figura 21: Representação dos elementos da dinâmica do sistema.....	294

Figura 22: Variáveis com influência direta sobre um sistema e a presença de variáveis ocultas.....	299
Figura 23: Matriz base para análise das influencias indiretas entre as variáveis.....	300
Figura 24: Elevação da matriz à potência.....	300
Figura 25: Elevação da matriz à 3ªpotência.....	301
Figura 26: Representação de um sistema estável e instável	303
Figura 27: Sistema autônomo.....	304
Figura 28: Sistema Fechado versus identidade do sistema.....	305
Figura 29: Mapeamento parcial da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal.....	317
Figura 30: Relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal que serão modelados.....	319
Figura 31: Percepção dos observadores para estabelecer a dinâmica da arquitetura da Cadeia de suprimentos.....	350
Figura 32: Mapeamento das interações na empresa focal.....	355
Figura 33: Mapeamento das interações na empresa fornecedora.....	357
Figura 34: Mapeamento das interações na empresa Cliente.....	358
Figura 35: Mapeamento das interações nas empresas Fornecedora-Focal-Cliente.....	362
Figura 36: Mapeamento das interações na cadeia de suprimento imediata da empresa focal.....	367

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1: Localização da Complexidade	35
Quadro 2: Principais características das lógicas hermenêutica e dialética.....	36
Quadro 3: Principais abordagens do termo Complexidade	51
Quadro 4: Abordagens de sistemas complexos por diversos autores.....	68
Quadro 5: Abordagens que separam os sistemas que podem ser tratados pelas ciências reducionistas e pelas ciências da complexidade	76
Quadro 6: Principais teorias que compõem as Ciências da Complexidade	85
Quadro 7: Principais abordagens sobre a evolução dos sistemas complexos.....	121
Quadro 8: Princípios da Ciência Clássica e Preceitos da Ciência Moderna	131
Quadro 9: Preceitos cartesianos e Preceitos sistêmicos	135
Quadro 10: Dinâmicas assumidas pelos sistemas complexos	158
Quadro 11: Ferramentas empregadas para representar sistemas complexo.....	199
Quadro 12: Memória de evolução da gestão da produção.....	205
Quadro 13: Aspectos relevantes da cadeia de valor, de suprimentos e produtiva	226
Quadro 14: Lógicas assumidas pela SCM.....	231
Quadro 15: Processos-chave para identificar ligações na cadeia de suprimentos.....	235
Quadro 16: Processos-chave de referência para identificar ligações na cadeia de suprimentos.....	236
Quadro 17: Fatores que influenciam a configuração de uma cadeia de suprimentos.....	238
Quadro 18: Características de uma organização virtual.....	240
Quadro 19: Resumo dos principais tipos de relacionamentos num arranjo empresarial	243
Quadro 20: Instrumentos de apoio a integração de uma cadeia de suprimentos.....	247
Quadro 21: Características comuns ao sistema complexo e a cadeia de suprimentos.....	251
Quadro 22: Benefícios que as propriedades dos sistemas complexos podem trazer as cadeias de suprimentos	258
Quadro 23: Descrição das fases e etapas da modelagem proposta.....	261
Quadro 24: Diagnóstico do nível de evolução do sistema complexo.....	272
Quadro 25: Identificação do equilíbrio do sistema.....	278
Quadro 26: Constituição da estrutura vertical da arquitetura do sistema.....	289
Quadro 27: Constituição da estrutura horizontal da arquitetura do sistema.....	290

Quadro 28: Entradas, processos e saídas de cada fase da modelagem.....	308
Quadro 29: Expansão da rede <i>Blue Tree Hotels</i> no Brasil de 1998 a 2004.....	312
Quadro 30: Estrutura de suporte da rede <i>Blue Tree Hotels</i>	314
Quadro 31: Diagnóstico do nível de evolução da empresa focal.....	326
Quadro 32: Diagnóstico do nível de evolução da empresa fornecedora	328
Quadro 33: Diagnóstico do nível de evolução da empresa cliente.....	329
Quadro 34: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das três empresas analisadas	332
Quadro 35: Medidas desenvolvidas pela empresa focal para alcançar o nível 9 de complexidade	335
Quadro 36: Posição espaço-temporal da empresa focal	337
Quadro 37: posição espaço-temporal da empresa fornecedora.....	338
Quadro 38: Posição Espaço-temporal da empresa cliente.....	339
Quadro 39: Resumo das principais informações obtidas a partir da aplicação das quatro primeiras fases da modelagem proposta.....	342
Quadro 40: Arquitetura que suportará o funcionamento da cadeia de suprimentos imediate modelada.....	344
Quadro 41: Base para a composição da Matriz de Análise Estrutural e da MICMAC.....	345
Quadro 42: Pressupostos para a articulação dos elementos da cadeia da suprimentos modelada.....	352
Quadro 43: Critérios para classificar as interações	354
Quadro 44: Inter-relações entre Subsistemas e Processos das empresas membros da cadeia de suprimentos imediata	363
Quadro 45: Caracterização do processo de integração das empresas focal, fornecedora e cliente.....	365
Quadro 46: Características que indicam a capacidade de auto-organização das empresas.....	372
Quadro 47: Balanço da Validação da Modelagem Proposta na cadeia de suprimentos da empresa focal.....	375
Quadro 48: Indicação de onde os objetivos específicos do trabalho foram atingidos.....	384

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	11
SUMÁRIO.....	13
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	22
1.1 ORIGEM DO TRABALHO.....	22
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	24
1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO	26
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	26
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
1.4 JUSTIFICATIVA.....	27
1.4.1 RELEVÂNCIA.....	27
1.4.2 INEDITISMO.....	29
1.4.3 DIFICULDADE.....	30
1.5 METODOLOGIA.....	31
1.5.1 CAMINHO DO PENSAMENTO	31
1.5.1.1 Linha Filosófica.....	33
1.5.1.2 Lógica hermenêutica-dialética.....	34
1.5.1.3 Paradigma Sistêmico.....	37
1.5.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	38
1.5.2.1 Quanto à natureza.....	38
1.5.2.2 Quanto à forma de abordagem do problema.....	38
1.5.2.3 Quanto aos objetivos.....	39
1.5.2.4 Quanto aos procedimentos técnicos.....	39
1.5.3 PRESSUPOSTOS BÁSICOS.....	40
1.5.4 ROTEIRO DA PESQUISA.....	41
1.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	42

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	43
CAPÍTULO 2: COMPLEXIDADE, SISTEMAS E EVOLUÇÃO.....	45
2.1 COMPLEXIDADE.....	45
2.1.1 SUMÁRIO DAS ABORDAGENS DO TERMO COMPLEXIDADE.....	50
2.2 SISTEMAS.....	52
2.2.1 O CONCEITO DE SISTEMA.....	53
2.2.2 TIPOS DE SISTEMAS.....	54
2.2.2.1 Sistemas Complicados.....	55
2.2.2.2 Sistemas Complexos.....	56
2.2.2.2.1 <i>Abordagem de Heylighen.....</i>	56
2.2.2.2.2 <i>Abordagem de Bar-Yam.....</i>	57
2.2.2.2.3 <i>Abordagem de Casti.....</i>	58
2.2.2.2.4 <i>Abordagem de Morin.....</i>	59
2.2.2.2.5 <i>Abordagem de Gino.....</i>	60
2.2.2.2.6 <i>Abordagem de Perrow.....</i>	61
2.2.2.2.7 <i>Abordagem de Wu.....</i>	62
2.2.2.2.8 <i>Abordagem de Iarozinski.....</i>	62
2.2.2.2.9 <i>Abordagem de Baranger.....</i>	63
2.2.2.2.10 <i>Abordagem de Cilliers.....</i>	64
2.2.2.2.11 <i>Abordagem de Gell-Mann.....</i>	64
2.2.2.2.12 <i>Sumário das Abordagens de Sistemas Complexos.....</i>	67
2.3. CIENCIAS DA COMPLEXIDADE.....	69
2.3.1 PRINCIPAIS ABORDAGENS QUE INVESTIGAM A APLICABILIDADE DAS CIÊNCIAS COMPLEXIDADE.....	70
2.3.1.1 Abordagem de Weaver.....	70
2.3.1.2 Abordagem de Weinberg.....	72
2.3.1.3 Abordagem de Saussure.....	72
2.3.1.4 Abordagem de Kauffman.....	72
2.3.1.5. Abordagem de Gell-Mann.....	73
2.3.1.6. Sumário das Abordagens.....	74
2.3.2 PRINCIPAIS RAMOS DAS CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE.....	77
2.3.2.1 Cibernética.....	77
2.3.2.2 Teoria Geral de Sistemas.....	78

2.3.2.3 Os Sistemas Dinâmicos.....	78
2.3.2.4 Teoria do Caos.....	80
2.3.2.5 Teoria da Complexidade.....	82
2.3.2.6 Sumário dos ramos das Ciências da Complexidade.....	84
2.4 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS COMPLEXOS.....	86
2.4.1 ABORDAGENS QUANTITATIVAS.....	87
2.4.1.1 Abordagem de Pettersson.....	87
2.4.1.2 Abordagem de Coren.....	88
2.4.1.3 Abordagem de Klir.....	89
2.4.2 ABORDAGENS QUALITATIVAS.....	90
2.4.2.1 Abordagem de Turchin.....	90
2.4.2.2 Abordagem de Maynard e Szathmáry.....	93
2.4.2.3 Abordagens de Dawkins.....	94
2.4.2.4 Abordagens de Kelly e Alisson.....	96
2.4.3 ABORDAGENS ESTRUTURAIS.....	98
2.4.3.1 Abordagem de Simon.....	98
2.4.3.2 Abordagem de Boulding.....	103
2.4.3.3 Abordagem de Le Moigne.....	105
2.4.3.4 Abordagem de Heylighen.....	106
2.4.3.5 Abordagem de Villegas.....	108
2.4.3.6 Abordagem de Daft.....	109
2.4.3.7 Abordagem de Miller.....	109
2.4.3.8 Abordagem de Checkland.....	111
2.4.4 ABORDAGENS FUNCIONAIS.....	112
2.4.4.1 Abordagem de Stewart.....	112
2.4.4.2 Abordagem Gell-Mann.....	114
2.4.4.3 Abordagem Atlan	116
2.4.4.4 Abordagem Beer.....	118
2.4.4.5 Sumário das abordagens.....	119
2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	123
CAPÍTULO 3: MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS.....	125
3.1 O TERMO MODELAGEM.....	125
3.2 PARADIGMA DA CIÊNCIA	128

3.2.1 PARADIGMA REDUCIONISTA.....	128
3.2.1.1 Ciência Clássica	129
3.2.1.2 Ciência Moderna	130
3.2.1.3 Ramificações do Paradigma Reducionista	131
3.2.1.4 Em busca de um novo Paradigma	132
3.2.2 PARADIGMA SISTÊMICO.....	134
3.2.2.1 Sistema: instrumento da modelagem	136
3.2.2.2 Critérios assumidos na modelagem de um objeto	138
3.2.2.3 Outros aspectos que devem ser considerados na modelagem	140
3.3 DINÂMICAS ASSUMIDAS PELOS SISTEMAS COMPLEXOS	142
3.3.1 FECHAMENTO DO SISTEMA E AUTO-ORGANIZAÇÃO.....	142
3.3.1.1 Tipos de Fechamento	144
3.3.1.2 Tipos de auto-organização	145
<i>3.3.1.2.1 Auto-organização baseada no conceito de atrator</i>	145
<i>3.3.1.2.2 Auto-organização baseada no conceito de fractal</i>	149
<i>3.3.1.2.3 Auto-organização baseada no conceito de hierarquia</i>	152
<i>3.3.1.2.4 Auto-organização baseada no conceito de autopoiese</i>	154
3.3.1.3 Comparação entre os tipos de auto-organização	156
3.4 FERRAMENTAS EMPREGADAS PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS	159
3.4.1 AUTÔMATO CELULAR.....	160
3.4.2 REDES NEURAIIS.....	165
3.4.3 ALGORITMOS GENÉTICOS.....	167
3.4.4 MATRIZ DE IMPACTO CRUZADO - MULTIPLICAÇÃO APLICADA A UMA CLASSIFICAÇÃO (MICMAC).....	171
3.4.5. P3TECH.....	179
3.4.5.1 Os princípios básicos	181
3.4.5.2 Os eixos	184
3.4.6 SIMULAÇÃO BASEADA EM SISTEMA DE MULTI-AGENTES(MAS).....	187
3.4.7 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A AGENTE – EXEMPLO: STARLOGO.....	193
3.4.8 OUTRAS FERRAMENTAS DE MODELAGEM COM BASE EM SIMULAÇÕES.....	196
3.4.9 COMPARACAO ENTRE AS FERRAMENTAS APRESENTADAS.....	198
3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	201

CAPÍTULO 4: OS ARRANJOS EMPRESARIAIS E AS CIÊNCIAS DA	
COMPLEXIDADE.....	203
4.1 EVOLUÇÃO DA GESTÃO ISOLADA PARA A GESTÃO	
COMPARTILHADA.....	204
4.2 A EMPRESA NO CONTEXTO DOS ARRANJOS EMPRESARIAIS.....	209
4.2.1 CADEIA DE VALOR (<i>VALUE CHAIN</i>).....	210
4.2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS (<i>SUPPLY CHAIN</i>).....	214
4.2.3 CADEIA PRODUTIVA (<i>FILIERE</i>).....	221
4.2.3.1 A Cadeia produtiva e a abordagem da competitividade sistêmica	222
4.2.3.2 A estrutura de formação da cadeia produtiva.....	223
4.2.4 SUMÁRIO DOS PRINCIPAIS ARRANJOS EMPRESARIAIS DISCUTIDOS...226	
4.3 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	227
4.3.1 EMERGÊNCIA DA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT).....	227
4.3.2 CONFIGURAÇÕES ASSUMIDAS PELA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	230
4.3.3 TIPOS DE RELACIONAMENTOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	238
4.3.4 INSTRUMENTOS QUE PODEM AUXILIAR A INTEGRAÇÃO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	243
4.3.4.1 Eletronic Data Interchange (EDI) ou Transferência Eletrônica de Dados.....	244
4.3.4.2 Efficient Consumer Response (ECR) ou Resposta Rápida ao Consumidor.....	244
4.3.4.3 Vendor Managed Inventory (VMI) ou Estoque Gerenciado pelo Fornecedor.....	245
4.3.4.4 Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) ou Planejamento Colaborativo na Previsão de Vendas e Reabastecimento.....	246
4.4 COMO A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE PODE CONTRIBUIR PARA A	
GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	248
4.4.1 SIMILARIDADES ENTRE SISTEMAS COMPLEXOS E CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	249
4.4.2 PROPRIEDADES DOS SISTEMAS COMPLEXOS ATRIBUIDOS AS	

CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	251
4.4.2.1 Adaptação	251
4.4.2.2 Estrutura em várias escalas.....	252
4.4.2.3 Emergência.....	253
4.4.2.4 Variedade-Variabilidade	253
4.4.2.5 Evolui pelo processo variação-seleção	254
4.4.2.6 Capacidade de memória.....	254
4.4.2.7 Capacidade de criar esquemas internos.....	255
4.4.2.8 Autonomia-Dependência	255
4.4.2.9 Capacidade de auto-organização.....	256
4.4.2.10 Capacidade de co-evolução.....	256
4.4.2.11 Os sistemas complexos mudam.....	257
4.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	258
CAPÍTULO 5: PROPOSTA DE UMA MODELAGEM DE REFERÊNCIA	
PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS	
SOCIAIS.....	
260	
5.1 FASES E ETAPAS DA MODELAGEM.....	260
5.1.1 FASE 1: PREPARAÇÃO.....	264
Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõe.....	264
Etapa 2: Nivelamento conceitual.....	264
Etapa 3: Caracterização do Sistema.....	266
5.1.2 FASE 2: DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EVOLUÇÃO DO SISTEMA COMPLEXO.....	267
Etapa 1: Definição dos níveis de evolução em complexidade nos quais podem enquadrados os sistemas	267
Etapa 2: Identificação das características que indicam o nível de evolução sistema.....	271
5.1.3 FASE 3: TORNAR OS NÍVEIS DE EVOLUÇÃO DOS SISTEMA COMPATÍVEIS.....	279
Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades dos sistemas analisados.....	279
Etapa 2: Reunião com os agentes envolvidos no processo.....	280

Etapa 3: Demarcação dos pontos onde haverá mudança	280
Etapa 4: Desenvolvimento de medidas para elevar os níveis de complexidade mais baixos.....	280
5.1.4 FASE 4: LOCALIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO SISTEMA.....	281
Etapa 1: Localização temporal do sistema.....	282
Etapa 2: Localização espacial do sistema.....	283
Etapa 3: Identificação do status do sistema a partir de alguns conceitos-chave	284
5.1.5 FASE 5: CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA PARA O SISTEMA.....	285
Etapa 1: Determinação dos componentes da estrutura do sistema.....	285
Etapa 2: Descrição da estrutura vertical do sistema.....	288
Etapa 3: Descrição da estrutura horizontal do sistema.....	290
5.1.6 FASE 6: DEFINIR A DINÂMICA PARA A ARQUITETURA DO SISTEMA.....	291
Etapa 1: Estabelecimento da percepção do observador.....	292
Etapa 2: Determinação dos elementos do sistema.....	293
Etapa 3: Dar articulação aos elementos do sistema.....	294
Etapa 4: Dar funcionalidade a arquitetura do sistema.....	296
Etapa 5: Indicação da auto-organização do sistema.....	304
Etapa 6: Monitoramento do funcionamento do sistema.....	306
5.2 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM.....	306
5.2.1 TREINAMENTO.....	307
5.2.2 FORMAÇÃO DO GRUPO PERMANENTE DE AVALIAÇÃO.....	308
5.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	308
CAPÍTULO 6: VALIDAÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS SOCIAIS.....	309
6.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM.....	310
6.1.1 FASE 1: PREPARAÇÃO.....	310
Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõe.....	311
Etapa 2: Nivelamento conceitual na empresa focal	311

Etapa 3: Caracterização da empresa focal	311
Etapa 4: Mapeamento da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal	315
Etapa 5: Seleção dos relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal que serão considerados na modelagem.....	319
Etapa 6: Caracterização das empresas parceiras selecionadas para modelagem.....	320
Etapa 7: Relacionamentos entre as três empresas descritas.....	323
6.1.2 FASE 2: DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EVOLUÇÃO EM COMPLEXIDADE DAS EMPRESAS.....	325
Etapa 1: Identificação do nível de evolução em complexidade da empresa focal e das empresas membros da cadeia de suprimentos.....	325
6.1.3 FASE 3: TORNAR OS NÍVEIS DE EVOLUÇÃO DAS EMPRESAS COMPATÍVEIS.....	330
Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das empresas analisadas.....	331
Etapa 2: Reunião do com agentes da empresa focal.....	334
Etapa 3: Desenvolvimento de medidas para elevar os níveis mais baixos de complexidade.....	335
6.1.4 FASE 4: LOCALIZAÇÃO DAS EMPRESAS NUMA ESCALA ESPAÇO- TEMPORAL.....	336
6.1.5 FASE 5: CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	340
Etapa 1: Determinação da estrutura funcional para a cadeia de suprimentos.....	341
Etapa 2: Estruturas vertical e horizontal.....	343
6.1.6 FASE 6: DEFINIR A DINÂMICA PARA A ARQUITETURA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	348
Etapa 1: Percepção do observador.....	348
Etapa 2: Determinação dos elementos da cadeia de suprimentos.....	350
Etapa 3: Articulação dos elementos da cadeia de suprimentos.....	351
Etapa 4: Dar funcionalidade a arquitetura da cadeia de suprimentos modelada.....	352
Etapa 5: Indicação da auto-organização da cadeia de suprimentos.....	370
Etapa 6: Monitoramento do funcionamento da cadeia de suprimentos.....	371
6.2 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	373
 CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	 377

7.1 CONCLUSÕES.....	377
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	384
REFERÊNCIAS.....	386
GLOSSÁRIO.....	401
APÊNDICE A – Aspectos observados para a determinação do nível de evolução em complexidade de uma empresa.....	404
APÊNDICE B – Roteiro de observação usado para levantar os critérios de seleção para auxiliar a empresa focal na escolha de empresas parceiras, com nível de complexidade entre 7 e 9, bem como avaliar os relacionamentos vigentes.....	407
APÊNDICE C – Roteiro de observação usado como suporte para levantar aspectos que identificam a posição espaço-temporal das empresas envolvidas na modelagem.....	408
APÊNDICE D – Roteiro de observação empregado como apoio para apurar se as relações entre as empresas são estáveis ou instáveis	409
APÊNDICE E – Roteiro de observação usado como apoio para avaliar o nível de cooperação e competitividade nas interações.....	410
APÊNDICE F – Demonstração do uso da matriz de análise estrutural e da MICMAC (Matriz de Impacto Cruzado – Multiplicação Aplicada a uma Classificação)	412

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 ORIGEM DO TRABALHO

Atualmente a sociedade se mostra mais complexa do que as anteriores e as culturas que a precederam. Essa assertiva fundamenta-se na observação de problemas sociais e individuais se comparados aos enfrentados em épocas passadas. Percebe-se que os conflitos, hoje, são mais inter-relacionados e difíceis de serem resolvidos. Por um lado isso ocorre devido ao aumento das interações não-lineares, as quais se comportam de modo imprevisível e incerto; por outro, por causa do número de informações geradas em função da rápida expansão de novas tecnologias e da disseminação do conhecimento.

Esse fato não é acompanhado, no mesmo ritmo, de instrumentos que possam suportar tais mudanças, gerando, assim, uma lacuna entre as mudanças da sociedade e os meios usados na intervenção desse ambiente mais complexo.

Essa lacuna pode ter ocorrido em decorrência do modo como o mundo ocidental foi construído, seguindo-se os preceitos do reducionismo, nos quais objeto e sujeito se dissociam. A lógica é reduzir o sistema para intervir nele e, depois, dominá-lo. O observador, na abordagem reducionista, é um sujeito passivo que pouco interfere no objeto modelado.

Pigliucci (2000) destaca que o reducionismo, apesar das limitações, foi o centro de algumas das mais importantes descobertas científicas; cita, como exemplo, as partículas, na Física, e as moléculas, na Biologia. Outrossim, o perceptível aumento das interações e do fluxo de informações nos sistemas carecem de instrumentos mais eficazes para intervir no novo ambiente, já que o reducionismo se atém, apenas, à análise das partes isoladas.

Heylighen (1988) aponta o estudo científico da complexidade como alternativa para intervir em sistemas complexos, os quais apresentam como características: muitas partes diferentes, muitas interações, comportamento imprevisível e dificuldade de gerenciamento.

Na abordagem sistêmica, os objetos são representados com a participação ativa dos observadores. Morin (1977, p.23) afirma que “os maiores progressos das ciências contemporâneas são obtidos quando o observador é reintegrado à observação”. O sujeito e o objeto interagem na captação de energia e recursos externos para ajustar sua organização interna e, assim, resistirem às perturbações do ambiente. Nesse sentido, Maturana e Varela (2001) argumentam que os indivíduos constroem o mundo em que vivem no decorrer de sua

trajetória de vida, ao mesmo tempo em que são transformados pelas interações com o mundo exterior.

Observa-se, contudo, uma contradição entre o contínuo aumento das inter-relações, do fluxo de informações e da imprevisibilidade de cenários no funcionamento dos diversos sistemas que compõem a sociedade, e a carência de instrumentos que possam intervir nesse novo ambiente de maneira eficaz.

A partir dessa constatação, utiliza-se a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade para desenvolver uma modelagem que possa intervir nesses sistemas. A esse respeito, Heylighen (1988) destaca que a ciência clássica evita, tanto quanto possível, reconhecer as várias partes diferentes que compõem um fenômeno, suas muitas interações e seu comportamento imprevisível, reduzindo os sistemas complexos a elementos simples sem interação e obedecendo a leis imutáveis.

Nesse contexto, as empresas se comportam, também, como sistemas complexos, com diversas interações não-lineares, sujeitas às mudanças imprevisíveis do ambiente, formadas por muitas partes diferentes e apresentando situações de difícil gerenciamento. Em decorrência dessas características, as empresas buscam alternativas que auxiliem no ajuste do comportamento interno e na melhoria das interações com outras empresas no ambiente de negócios. Wood Jr. e Zuffo (1998) destacam a existência de uma hipercompetição, que ocorre num mundo de dinâmica mais veloz e mais inter-relacionada, na qual os atores interagem em âmbito mundial. Trata-se de um ambiente, em que as vantagens competitivas são efêmeras, e o ciclo de vida dos produtos é curto, instável e, em vários casos, imprevisível.

Por muitos anos, principalmente nas grandes empresas, predominavam as estruturas verticalmente integradas, nas quais a maioria das operações necessárias para disponibilizar um produto aos clientes finais realizava-se, apenas, por uma empresa. Mas alguns fatores levaram a uma significativa mudança na configuração estrutural das empresas que possuem relacionamentos conjuntos. Esses fatores podem ser representados, principalmente, pelo aumento da concorrência, o que acarretou maior preocupação, com a redução dos custos e a concentração nas competências essenciais da empresa (*core competences*).

Nesse contexto, surgem as estruturas empresarias horizontalizadas, nas quais se destacam conceitos como arranjos empresarias, cadeias produtivas, cadeias de suprimentos e redes virtuais. Enquanto no passado existiam relações antagônicas entre fornecedores e clientes, atualmente as empresas estão percebendo as vantagens da colaboração entre parceiros comerciais. Quando as empresas funcionam integradas, as interações e o fluxo de informações aumentam a complexidade desses relacionamentos. Exigem-se modelagens que

contemplem aspectos como: interações não-lineares, evolução dos sistemas (fornecedor, cliente e empresa foco), propriedades emergentes e fluxo de informações, entre outras.

A ciência clássica, com seus preceitos reducionistas, funciona com pouca eficácia em ambientes com tal nível de complexidade. Por isso os sistemas complexos, para exprimir toda a riqueza advinda das interações, precisam ser tratados por modelagens que considerem a complexidade do sistema, com base nas Ciências da Complexidade. Os arranjos empresariais precisam ser compreendidos não nos seus elementos isolados, sem conexão, mas nas partes que são diferentes e, ao mesmo tempo, conectadas, ou seja, em sua complexidade global. Os fenômenos complexos, todavia, apresentam muitas dimensões, motivo pelo qual não há uma modelagem completa que possa representá-los em sua totalidade. O importante é ter a consciência dessa limitação.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Em trabalhos anteriores, todos relacionados à gestão de custos nas empresas (LEITE, 1996; LEITE e LIMA, 1997; FRANÇA, LEITE e LIMA, 1999), observou-se, por um lado, a existência de muitas interações não-lineares e pouco previsíveis que não eram consideradas pelos métodos usuais de custos, mas que afetavam o desempenho das empresas, o que interferia diretamente nos custos. Por outro lado, constatou-se a existência de interações, não só dentro das empresas, mas entre as empresas que possuíam algum tipo de relacionamento comercial. Essas relações interempresariais afetavam as interações dentro da empresa foco, refletindo diretamente no desempenho dos custos.

A partir dessas observações, procedeu-se ao estudo de instrumentos que pudessem considerar as interações não-lineares e interempresariais no mapeamento dos custos. As investigações percorreram vários caminhos, em um dos quais se depararam com a abordagem que trata da complexidade. Nessa visão, os sistemas são tratados considerando as interações não-lineares, imprevisíveis e incertas, as propriedades emergentes, as conexões em várias dimensões e a evolução em níveis de complexidade.

A descoberta dessa abordagem instigou uma análise mais profunda sobre a origem, os fundamentos e as aplicações de seus fundamentos. Observou-se, ainda, que existem algumas teorias que têm como objeto o estudo da complexidade, são as Ciências da Complexidade; já outras têm como meta a redução da complexidade, são as chamadas abordagens reducionistas. A primeira forma a base para intervenção nos sistemas complexos, os quais consideram as diversas conexões que compõem o sistema; a segunda é a mais

difundida no mundo ocidental e mais apropriada aos sistemas complicados, com interações lineares, previsíveis e controláveis. Snowden (2003) distingue os sistemas complicados dos complexos, com o seguinte exemplo: uma aeronave é um sistema complicado, pois pode ser melhorado pela otimização de suas partes, uma vez que o todo é a soma das partes. Já os sistemas humanos, como os de uma organização de negócios, são complexos, já que seus componentes e interações estão em constante mudança e que nunca se pode estabelecê-los em definitivo.

Dessa diferenciação entre sistemas complexos e complicados e as abordagens adequadas a cada um, percebeu-se que, na prática, os sistemas complexos são tratados como complicados, fato que reduz a riqueza e a complexidade geradas pelas interações, o que não reflete a realidade do sistema. Dessa forma, direcionou-se a pesquisa ao desenvolvimento de uma modelagem que representasse sistemas complexos, não mais direcionada à análise de custos, e sim à proposição de um instrumento que fosse capaz de representar o sistema, considerando a sua complexidade e não a reduzindo.

Nessa perspectiva, as empresas são consideradas sistemas complexos com muitas interações não-lineares e com conexões interempresariais. As novas configurações, assumidas mais efetivamente a partir dos anos 1980 com o aumento da competição, são construídas em formatos mais horizontais que verticais formando os arranjos empresariais. Os mais conhecidos, dentre eles, são as cadeias de suprimentos e as cadeias produtivas. Esses novos formatos compartilham processos e interações, aumentando, ainda mais, a complexidade nas relações entre as empresas e exigindo instrumentos mais adequados para a representação de sua complexidade.

De acordo com Minayo *et al.* (2001, p.17), a pesquisa vincula pensamento e ação, por isso nada pode ser intelectualmente um problema, se não tiver sido, em primeiro lugar, um problema de vida prática. A partir das constatações empíricas apresentadas, foi formulado o problema de pesquisa deste trabalho:

- Que elementos são necessários para desenvolver uma modelagem apropriada à intervenção em sistemas complexos sociais, que considere as diferentes partes do sistema, suas interações, suas inter-relações e sua evolução?

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma modelagem de referência que represente sistemas complexos sociais, levando em conta a complexidade como uma característica global do sistema, a diversidade de componentes e suas interações lineares e não-lineares e que considere, ainda, o processo de evolução do sistema modelado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar e discutir o termo “complexidade” e suas aplicações;
- Incorporar o conceito de sistema às discussões da complexidade, estendendo às abordagens referentes a sistemas complicados e complexos;
- Apresentar e discutir as teorias desenvolvidas para tratar as características dos sistemas complexos;
- Apresentar e discutir as abordagens referentes à evolução dos sistemas complexos;
- Apresentar e discutir tipos de modelagens apropriados aos sistemas complexos e ferramentas adequadas a sua representação;
- Apresentar e discutir a concepção dos arranjos empresariais como uma nova forma de funcionamento das empresas, evidenciando as contribuições das Ciências da Complexidade nesse contexto;
- Propor uma modelagem apropriada às características dos sistemas complexos sociais;
- Validar a modelagem, aplicando-a em parte de uma cadeia de suprimentos.

1.4 JUSTIFICATIVA

O trabalho se justifica considerando três dimensões: quanto à **relevância**, quanto ao **ineditismo** e quanto à **dificuldade**.

1.4.1 RELEVÂNCIA

O trabalho possui relevância teórica e prática. A **relevância teórica** é evidenciada por três enfoques principais: a complexidade, os sistemas e a evolução, perfazendo uma discussão conjunta; a modelagem de sistemas complexos e uma argumentação sobre os arranjos empresariais e as Ciências da Complexidade.

O estudo da **Complexidade** é um campo do conhecimento muito antigo, mas pouco explorado. Há relatos da aplicação de seus fundamentos desde os filósofos jônicos do século VI a.C. A exploração e a difusão da complexidade iniciam-se mais consistentemente a partir do final do século XIX; realiza-se por meio de diversas áreas, principalmente a Física, a Química, a Biologia, a Astronomia e a Sociologia, as quais apresentam interesses e enfoques diferentes. Essa diversidade de interesses e áreas, associada à profunda divulgação, aceitação e aplicação dos preceitos reducionistas da ciência, fez com que as Ciências da Complexidade fossem pouco conhecidas e utilizadas, sobretudo no mundo ocidental.

As Ciências da Complexidade se apropriam das características dos sistemas naturais com o objetivo de representar os artificiais o mais próximo possível da realidade. Por isso, suas intervenções nos fenômenos não utilizam os preceitos reducionistas, pelo contrário, tratam os fenômenos como sistemas integrados, nos quais a análise de uma única parte não pode representar a riqueza do todo. Além disso, preocupa-se com o comportamento do sistema, suas interações, e busca, eminentemente, compreender como os sistemas evoluem, mudando de um nível de complexidade para outro. Assim, discutir teoricamente os conceitos de complexidade, sistema e evolução, analisando-os, sem compromisso, com os objetivos e as áreas que os originaram, pode contribuir para a construção de um conhecimento mais unificado sobre o tema.

Quanto à **modelagem de sistemas complexos**, não se tem conhecimento de modelagens sistematizadas desenvolvidas para tratar os sistemas complexos. O que existem são algumas ferramentas que podem ser empregadas para tratar as interações e conexões que compõem cada um deles.

Smith, Bar-Yam e Gelbart (2001) destacam que muitos campos do estudo científico são emperrados pela carência de linguagens precisas para descrever a estrutura e a dinâmica desses sistemas. Isso dificulta as pesquisas, refletindo na credibilidade de sua aplicação. Não é incomum comentários pejorativos quanto ao emprego das Ciências da Complexidade para a resolução de problemas. Como o reducionismo foi muito difundido e utilizado com sucesso, tratar os sistemas como partes isoladas passou a ser visto como solução para todos os problemas.

Nesta tese, apresentam-se algumas ferramentas que podem ser empregadas para analisar os sistemas complexos e propõe-se uma modelagem para esses sistemas.

No que diz respeito aos **Arranjos Empresariais** e às **Ciências da Complexidade**, as organizações empresariais, em razão da concorrência, buscam configurações mais horizontais que verticais, em oposição ao que acontecia no passado recente (até os anos 80). Os termos **arranjos, cadeias e redes**, para denominar relacionamentos mais cooperativos que competitivos, são comuns na área de gestão empresarial. No entanto, não existem, na literatura, muitos trabalhos associando esse novo formato funcional das empresas às Ciências da Complexidade. O usual é tratar esses arranjos empresariais com ferramentas que empregam a mesma lógica utilizada na intervenção das empresas isoladas. Desconsiderando-se, geralmente, o aumento de complexidade, que ocorre pelo aumento das interações, das variáveis e pela dificuldade de gerenciamento. Tais mudanças são inerentes ao novo formato funcional que assumem as empresas na constituição de arranjos cooperativos.

Morin (2000,p.91) afirma: “fomos educados para a simplificação, que separa tudo aquilo que não entra no esquema da redução, do determinismo, da descontextualização ”. Nesse sentido, este trabalho de pesquisa apresenta as contribuições que os fundamentos das Ciências da Complexidade podem trazer à gestão de uma cadeia de suprimentos. Contribuindo-se, assim, com a academia na sedimentação do conhecimento sobre a aplicação dos conceitos das Ciências da Complexidade à gestão dos arranjos empresariais.

A **relevância prática** se verifica pela aceitação que tem o tema, quando discutido com empresários. Em determinados tipos de negócios, os dirigentes observam que há uma lacuna entre as intervenções teóricas e as aplicações práticas. Queixam-se da falta de ferramentas teóricas para lidar com as mudanças no comportamento empresarial. Mudanças que são representadas, principalmente, pelo aumento das interações dentro e entre as empresas que se relacionam comercialmente.

Este trabalho pretende contribuir para que os sistemas sejam identificados como complexos e tratados por modelagens que possam captar a sua complexidade, fechando-se, assim, essa lacuna.

Finalmente, a relevância deste trabalho pode ser evidenciada pelas afirmações de Le Moigne (1977), Morin (1977), Heylighen (1988), Wu (1999) e Holling (2001), de que é preciso compreender os sistemas complexos e desenvolver ferramentas para conhecer e intervir em suas características, aproveitando a riqueza que emerge do seu comportamento, se tratado adequadamente.

Os três temas abordados (complexidade, modelagem de sistemas complexos e arranjos empresariais versus ciências da complexidade), pela importância que possuem, podem contribuir, por meio da modelagem proposta, tanto para os objetivos acadêmicos, quanto para as aspirações empresariais.

1.4.2 INEDITISMO

Heylighen (1996), afirma que, apesar das dezenas de definições estabelecidas para o termo “complexidade”, todas deixam a desejar em algum aspecto, quando tentam classificar alguma coisa como complexa. Elas são vistas, pelo observador, intuitivamente como simples ou nega-se a óbvia complexidade existente no fenômeno. Baranger (199-?) destaca que a idéia de sistema complexo é confusa, diferindo-se de um autor para outro. O desafio é desenvolver mecanismos intuitivos, precisos e sistemáticos para a descrição da complexidade (SMITH, BAR-YAM e GELBART, 2001).

As Ciências da Complexidade abrangem uma área ampla e aberta a inovações. No campo das conceituações dos fenômenos complexos e da construção de estruturas conceituais de referência, existe uma vasta literatura. Destacam-se, por exemplo: Simon (1968), Morin (1977), Gell-Mann (1996), Stacey (1996), Axelrod e Cohen (1999), Coelho (2001) e Agostinho (2003). No que diz respeito a modelagens desenvolvidas para intervir nos sistemas complexos, entretanto, há pouca pesquisa. Além disso, as abordagens existentes são aplicadas a áreas de conhecimento muito distintas. Na Biologia, sobressai Kauffman (1993); nas Ciências da Computação, Holland (1995); nas Ciências dos Sistemas, Le Moigne (1977); na Física e na Ciência Cognitiva, Heylighen (1988).

Diferentemente das abordagens pesquisadas, este trabalho propõe uma modelagem referencial que vá além da criação de uma estrutura conceitual, intervindo nas características do sistema complexo. A modelagem é genérica, podendo ser aplicada aos sistemas complexos

do tipo sociais independente da área de conhecimento em que ele está sendo investigado. A modelagem proposta não pretende abranger todas as dimensões do fenômeno estudado, mas evidenciar essa impossibilidade, deixando claras as suas limitações.

Esta pesquisa auxilia numa mudança do paradigma reducionista para o paradigma sistêmico ou da complexidade. A visão de que as interações e as conexões podem ser reduzidas não mais funciona no atual ambiente das empresas.

1.4.3 DIFICULDADE

Trabalhar considerando a complexidade dos fenômenos é mais difícil que reduzi-lo a partes isoladas. Quando se analisa uma parte e generalizam-se os resultados encontrados para o sistema como um todo, desconsideram-se as interações, as conexões, as propriedades emergentes, as diferenças entre as partes que constituem todo o sistema. Nessa situação, fecha-se o sistema às interferências externas, o que facilita a análise, já que, no sistema fechado, é possível prever e dominar o seu funcionamento, fato que reduz a dificuldade de intervenção no sistema. O reducionismo não detecta a complexidade, ele oculta as ligações, as articulações, as implicações, as imbricações, as interdependências (MORIN, 1977).

Contrariamente, quando se propõe modelar um sistema de modo a evidenciar, descrever e intervir na sua complexidade, o grau de dificuldade aumenta consideravelmente. Nesse caso, precisa-se administrar a racionalidade limitada do ser humano, que não consegue lidar com muitas dimensões de um fenômeno ao mesmo tempo. Bar-Yam (1997) afirma que o homem somente pode ter na mente 7 ± 2 coisas independentes de cada vez; Foster, Kay e Roe (2001) argumentam que a habilidade do ser humano para compreender o universo é inerentemente reduzida.

A racionalidade limitada pode ser compensada pela aceitação de que não se pode modelar um fenômeno em todas as suas dimensões, justamente por causa da própria incapacidade humana de percebê-las totalmente, em suas abrangências e interferências. Por isso, a modelagem proposta, não pretende contemplar um sistema em toda a sua dimensão, mas demonstrar em quais dimensões a modelagem se concentra e qual o nível de complexidade analisada.

A modelagem que considera a complexidade do fenômeno permite amplo conhecimento estrutural e comportamental do sistema estudado, podendo contribuir para a melhoria de sua atuação sistêmica.

1.5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi desenvolvida com a intenção de ser um instrumento norteador da reprodutibilidade das etapas que formaram a sua construção. Para tanto, inicia-se pela apresentação de alguns conceitos de metodologia.

Segundo Taylor e Bogdan (1998), o termo “metodologia” se refere ao caminho pelo qual se questionam os problemas e procuram-se as respostas. Vasconcelos (2002) define-a como uma estratégia para abordagem de um tema em foco, incluindo a estratégia institucional, o desenho da pesquisa, as fontes de dados, as informações e os instrumentos de investigação. Para Minayo (1993), a metodologia é o caminho e o instrumental próprios de abordagem da realidade. “A compreensão da realidade é sempre mediada por teorias, por crenças, por representações. Não é possível fazer ciência sem método” (MINAYO e DESLANDES, 2002, p.17). Minayo (1993) descreve o conceito de metodologia de modo mais abrangente e concomitante:

- como a discussão epistemológica sobre o ‘caminho do pensamento’ que o tema ou objeto de investigação requer;
- como a apresentação adequada e justificada dos ‘métodos, das técnicas e dos instrumentos operativos’ que devam ser utilizados para as buscas relativas às indagações da investigação;
- e como a ‘criatividade do pesquisador’, em outras palavras, a sua marca pessoal e específica na forma de articular teoria, método, achados experimentais, observacionais, ou qualquer outro tipo específico de indagação científica.

Seguindo tais conceitos de metodologia, indica-se o “caminho do pensamento” empregado no delineamento deste trabalho.

1.5.1 CAMINHO DO PENSAMENTO

Apesar da discussão sobre a complexidade dos fenômenos ser muito antiga, a percepção de que os preceitos reducionistas de Descartes não eram suficientes para representar todos os fenômenos foi intensificada durante o século XX. Descobertas realizadas na Física motivaram a incorporação do estudo da complexidade em outras áreas da ciência (Química, Biologia, Matemática, Sociologia etc). A partir dos anos 1980, emergiram as denominadas “novas ciências,” que tinham como foco o estudo da complexidade dos

fenômenos em contraponto à abordagem cartesiana, cujo foco é excluir a complexidade para facilitar a análise.

Prigogine e Stengers (1997) abordam que, já a partir dos anos 1960, temas como caos, sistemas dinâmicos instáveis, processos de não-equilíbrio, auto-organização, estruturas dissipativas, entre outros, presentes na Física, Matemática, Biologia e Ecologia, aprofundaram a idéia de crise das ciências convencionais e a busca de novas formas de racionalidade. Na mesma época, Kuhn (1962) observa que a ciência não avança de forma linear, evolutiva e cumulativa, mas por meio de rupturas ou paradigmas, funcionando como sistemas de crenças e referências, os quais, na maioria das vezes, são incompatíveis uns com os outros. Essas discussões indicam que as verdades científicas apresentam formas limitadas e de relativa validade. Além disso, a idéia de complexidade e de sistemas complexos é reivindicada por estudiosos como Morin (1977), Le Moigne (1977), Atlan (1979), Prigogine e Stengers (1984), em resposta aos desafios no campo das ciências em geral.

Nesse contexto, Vasconcelos (2002) destaca as críticas à especialização da ciência, as quais induzem a aspirações por práticas interdisciplinares e transdisciplinares, capazes de dialogar e produzir trocas entre os diversos campos do saber. Feyerabend (1991) estabelece que os métodos científicos são perspectivas particulares que não são auto-evidentes nem superiores em relação às outras abordagens. Na sua visão, todas as teorias possuem pontos fortes, pontos problemáticos e pontos fracos. Destaca, ainda, que a interdisciplinaridade funciona como um catalisador que reúne as melhores características da variedade de métodos ou teorias, para intervir em determinada situação. Aleksandrowicz (2002) discute que um dos mais instigantes desafios, hoje, no âmbito metodológico, seja, talvez, o espaço a ser ocupado, nos diálogos interdisciplinares, a idéia de complexidade como instrumento de trabalho.

A elaboração desta tese segue os preceitos das Ciências da Complexidade, rumo pelo qual se deve, entre outras coisas, à observação de que a realidade é complexa e, por isso, não deve ser modelada como um conjunto de elementos simples e isolados.

Aleksandrowicz (2002) salienta que a utilização do termo “complexidade,” aplicado a metodologias de pesquisa, tem origem na reflexão filosófica introduzida pelas denominadas “novas ciências”, que se opõem à ciência moderna, instituída por Descartes, cuja lógica de funcionamento é dividir a realidade em compartimentos reduzidos, com o intuito de dominá-la e controlá-la. A esse respeito, Rose (1989) argumenta que o prestígio das “novas ciências” está ligado ao fato de se fornecer um instrumental metodológico que questiona algumas das velhas certezas acerca da objetividade do conhecimento científico, indagando as controvérsias sobre os métodos que agem de modo, analítico, redutor, dominador e objetivador. Assim, as

ciências da complexidade, por reunirem visões de várias áreas da ciência representando um campo interdisciplinar, podem ser empregadas, de modo mais efetivo, para intervir nessa realidade complexa.

Diante de tais abordagens, para a construção deste trabalho de pesquisa, percorreu-se um caminho a partir da determinação da linha filosófica assumida para o direcionamento e estruturação do trabalho. Em seguida, definiu-se a lógica empregada para a sua articulação e determinou-se o paradigma da ciência que norteou esta execução.

1.5.1.1 Linha Filosófica

Na história do pensamento filosófico e científico, sucedem-se tendências que enfocam ora o aspecto complexo, ora o aspecto simples (reduzido) dos objetos que prendem a atenção do estudioso (ALEKSANDROWICZ, 2002).

Norteados pelos preceitos das Ciências da Complexidade, este trabalho tem como base algumas premissas, dentre as quais: o observador é um sujeito ativo que procede a uma descrição comunicável daquilo que percebe e daquilo que concebe. O objeto observado interage com o observador. As palavras-chave do trabalho são: conceber, compreender e interpretar, ao invés de analisar e explicar.

Para suportar essas premissas, a linha filosófica assumida é a **fenomenológica**, que se fundamenta na interpretação dos fenômenos, na intencionalidade da consciência e na experiência do sujeito. A idéia básica da fenomenologia é a noção de intencionalidade, a qual consiste em reconhecer o princípio da inexistência do objeto sem o sujeito. A esse respeito, Husserl (1986) destaca que a percepção do mundo, mesmo com os avanços da ciência, ocorre conforme a visão pessoal e as experiências acumuladas, sem as quais os símbolos da ciência nada significam. A fenomenologia, contudo, não concebe a subjetividade em oposição à objetividade, porque esses dois termos estão em consonância: o sujeito que realiza objetiva-se em sua ação, e seu produto é sua própria subjetivação (MINAYO e DESLANDES, 2002). Associada a essa linha filosófica, empregou-se a lógica hermenêutica-dialética, que articula a construção desta metodologia. Outras vertentes são assumidas pela fenomenologia, mas não estão sendo consideradas no desenvolvimento deste trabalho.

1.5.1.2 Lógica hermenêutica-dialética

A **hermenêutica** segue a lógica da compreensão. Gadamer (1999) discute que a característica essencial da compreensão é o fato de que, para entender o contexto, é necessário compreender o individual, num movimento circular e recursivo. Além disso, esse movimento é ampliado, já que o conceito de contexto é relativo e pode ser integrado a outros contextos ainda maiores, fato que afeta a compreensão individual.

A base formadora da compreensão é a vivência, o modo como uns interferem sobre os outros, funcionando como sistemas abertos sem fronteiras delimitadas. As ciências compreensivas se fundamentam no senso comum e na noção de bom senso. Para Vico (1979), é um saber direcionado para o verdadeiro e para o correto, que busca o que é plausível e prático e se sustenta em vivências e não em fundamentações racionalistas.

Outro termo que compõe o campo da lógica hermenêutica é o símbolo. Minayo e Deslandes (2002) descrevem-no como aquilo que vale não somente pelo conteúdo, mas por ser um veículo de comunicação. Os objetos são compreendidos de modo subjetivo pela consciência, que lhes atribui maior ou menor relevância.

Minayo e Deslandes (2002) discutem as controvérsias existentes em relação aos termos “senso comum” e “bom senso” em relação à cientificidade das ciências humanas e sociais, principalmente em decorrência do avanço do positivismo e da lógica hipotético-dedutiva, que criaram a ilusão de que há neutralidade racional e possibilidade de a ciência se desenvolver sem se contaminar por “pré-conceitos” e “pré-juízos”. A esse respeito, Santos (1989) observa alguns pontos de vista sobre o assunto, os quais ressaltam, por um lado, o aspecto positivo e, por outro, o aspecto negativo das lógicas baseadas no senso comum.

Pode-se perceber que a hermenêutica se aproxima da fenomenologia e dos fundamentos das Ciências da Complexidade, já que buscam conceber, compreender e interpretar, estabelecendo relações em diferentes níveis, em relação à essência dos fenômenos estudados utilizando, para isso, o senso comum, as vivências e os símbolos. Nessa perspectiva, Atlan (1979) destaca a necessária releitura dos fundamentos filosófico e metodológico que têm regido o entendimento e a intervenção nas estruturas dinâmicas atuais, as quais, são fundamentadas, muitas vezes, no determinismo da natureza. Prigogine e Stengers (1984) abordam o predomínio de leis determinísticas na decodificação da realidade, em detrimento da emergência de certos elementos probabilísticos que devem ser considerados na compreensão dos fenômenos.

Nesse sentido, os sistemas complexos, objeto de investigação deste trabalho, podem ser descritos como sistemas formados por muitas partes diferentes interligadas entre si, de modo que o comportamento de uma parte influencie o da outra parte. A complexidade do todo vai decorrer desse entrelaçamento de influências mútuas, à medida que o sistema evolui dinamicamente no tempo.

Um sistema complexo não pode ser compreendido fora do seu contexto, e é difícil de ser gerenciado, pois se mantém fora do equilíbrio, numa situação intermediária entre a ordem e a desordem (ALEKSANDROWICZ,2002; MORIN,1977). Heylighen (1988) lembra que os sistemas complexos evoluem e mudam com o tempo, processo em que certas partes são conservadas, enquanto outras são modificadas. Isto acontece devido à posição mista entre a ordem ou invariância e a desordem ou variância. Byrne (1998) destaca que os sistemas complexos se concentram no espaço entre a certeza do positivismo e a irracionalidade do pós-modernismo. Geyer e Rihani (2000) situam a complexidade entre a abordagem reducionista representada pela completa ordem e a abordagem caótica de completa desordem. Estes autores apresentam algumas características que norteiam a ordem, a complexidade e a desordem.

Como apresentado no Quadro 1, a complexidade se situa entre a ordem e a desordem. Por causa dessa constatação, emprega-se a lógica hermenêutica-dialética: por um lado se compreende; por outro, é complementada pela atividade de constante transformação e atitude contraditória do movimento dialético.

Ordem- Complexidade-Desordem		
Ordem (Visão linear)	Complexidade (Visão não-linear)	Desordem (Visão anti-linear)
Completa racionalidade	Fronteira da racionalidade	Completa irracionalidade
Total certeza	Certeza limitada	Incerteza
Previsibilidade	Previsibilidade limitada	Imprevisibilidade
Ligação causa-efeito	Causalidade indeterminada	Causalidade sem sentido
Determinismo	Mudança evolucionária	Caos

Quadro 1: Localização da Complexidade. **Fonte:** Geyer e Rihani, 2000.

A **dialética** ao longo de sua história assumiu vários significados. Inicia-se com os pré-socráticos e continua até hoje. A dialética antiga, para os gregos, significava a arte do diálogo, da separação, da classificação das idéias, para melhor analisá-las. Em Platão, a dialética é o método da passagem de um conhecimento sensível para o conhecimento racional (PLATÃO,1978). Em Aristóteles, o significado está ligado à dedução. Para Descartes (1980), significa a lógica falsa inadequada ao correto uso da razão. Em Hegel (1980) é vista como a forma pela qual a realidade se desenvolve, pois, no universo, tudo é movimento e transformação, nada permanece imutável, tudo muda.

No Marxismo, a dialética se transformou numa maneira dinâmica de interpretar o mundo. No movimento marxista, destacam-se duas visões: a de Engels e a de Lênin. Para Engels (1952), a dialética está presente na realidade como forma de articulação das partes num todo e como processo de desenvolvimento dessas partes. Para Lênin (1965), a realidade é um todo dinâmico, em constante desenvolvimento, em unidades de contrários, cujo conhecimento é um processo de conquistas de verdades relativas como parte de uma verdade única e absoluta.

Neste trabalho, o conceito de dialética se fundamenta nas abordagens de Hegel e do Marxismo, as quais podem ser sumarizadas como um encadeamento de processos que consideram as transformações dinâmicas pelas quais passam os sistemas.

Segundo Minayo e Deslandes (2002), a associação entre as lógicas hermenêuticas e as dialéticas conduz, concomitantemente, ao processo de compreensão e de crítica para a análise da realidade social. Para Gadamer (1999), a compreensão só é possível através do desconhecimento, já que a necessidade do entendimento emerge do fracasso da clareza da linguagem e das próprias incompletudes e limitações humanas. Para Habermas (1987), a razão humana vai além da compreensão e da interpretação, pois possui a capacidade de exercer crítica e superar “pré-juízos”. Triviños (1987, p.117) destaca que as pesquisas qualitativas se baseiam, especialmente, na fenomenologia e no marxismo.

Para mostrar a complementaridade entre a lógica hermenêutica e a lógica dialética, apresenta-se, na seqüência, no Quadro 2, um resumo com as principais características.

Hermenêutica	Dialética
Compreende o contexto dos objetos estudados (entrevistas e documentos).	Estabelece uma atitude crítica.
Interpreta os documentos analisados sem “pré-conceitos”, dando fé ao seu teor.	Considera as relações sociais dinâmicas e antagônicas.
Busca nos objetos analisados mais do que sua essência, o sentido que quis expressar quem o emitiu.	Introduz na compreensão da realidade o princípio do conflito e da contradição que se sedimenta na transformação.
Considera que os seres humanos não são somente objetos da investigação, mas também sujeitos das relações.	Articula os pólos de subjetividade e objetividade.

Quadro 2: Principais características das lógicas hermenêutica e dialética. **Fonte:** Gadamer (1999), Habermas (1987) e Minayo e Deslandes (1993,2002) – Adaptado.

Apesar de serem originadas por movimentos filosóficos diferentes, as lógicas hermenêutica e dialética são aceitas, neste trabalho, em associação. Elas se complementam na forma como interagem com o objeto analisado, já que ambas partem do princípio de que não há observador imparcial, nem há ponto de vista fora da realidade do ser humano e da sua história. Nesse sentido, entende-se que o pesquisador parte da realidade que investiga.

Na seqüência, apresenta-se o paradigma que suporta a linha filosófica e a lógica de articulação assumidas nesta tese.

1.5.1.3 Paradigma Sistêmico

O foco central desta pesquisa visa desenvolver uma modelagem para representar sistemas complexos. Para isso, utiliza-se como abordagem teórica a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade. A seleção do referencial teórico deveu-se à busca de alternativas que fossem mais apropriadas ao tratamento das características inerentes aos sistemas complexos (muitas partes diferentes, conectividade entre as partes, comportamento difícil de gerenciar e prever e impossibilidade de analisar as partes independentes do todo). Desse modo, para modelá-los, é necessário utilizar um paradigma científico que considere a complexidade do objeto investigado e as impressões do observador sobre esse objeto.

Sendo assim, emprega-se o *paradigma sistêmico* por associar o observador ao objeto observado. Em outras palavras, associa sujeito e objeto, em contraponto ao *paradigma reducionista*. Este dissocia o sujeito do objeto, desconsiderando as intervenções do sujeito no objeto investigado. Morin (1977,p.29) observa que “há uma necessidade histórica de encontrar um método que detecte e não que oculte as ligações, as articulações, as solidariedades, as implicações, as imbricações, as interdependências e as complexidades entre sujeito e objeto.” Para Le Moigne (1977), o paradigma sistêmico introduz uma renovação epistemológica, por trazer uma proposta diferente da estabelecida pelas ciência clássica e moderna, representadas pelos preceitos cartesianos.

Nessa perspectiva, Triviños (1987) destaca o enfoque sistêmico da pesquisa, o qual parte da idéia de que existem numerosas relações no interior do objeto estudado, mas que este, também, está ligado ao meio externo. O enfoque sistêmico direciona a atenção, especialmente, ao estudo dos sistemas complexos. Como exemplo, citam-se os sistemas de natureza psicológica, social e biológica. Esse enfoque deve ser entendido como uma reação à percepção reducionista (cartesiana) de interpretação da realidade. Logo, observa-se que o paradigma sistêmico possui um enfoque que suporta as pesquisas fundamentadas nas Ciências da Complexidade, motivo pelo qual é adotando como direcionador para a elaboração desta tese.

A partir da determinação do paradigma que norteou o estudo, a metodologia foi subdividida nas seguintes etapas: classificação da pesquisa, pressupostos básicos e roteiro da pesquisa.

1.5.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Silva e Menezes (2000, p.20), uma pesquisa pode ser classificada de quatro formas: quanto à natureza, quanto à forma de abordagem do problema, quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

1.5.2.1 Quanto à natureza

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada em **básica** ou **aplicada** (SILVA e MENEZES, 2000, p.20). Esta tese trata-se de uma pesquisa **básica e aplicada**, pois tem como objetivo discutir teoricamente a modelagem de sistemas complexos e, a partir disso, propor uma modelagem adequada a sistemas complexos sociais, a qual foi aplicada com o propósito de gerar conhecimento prático sobre o tema.

1.5.2.2 Quanto à forma de abordagem do problema

Quanto à forma de abordagem do problema, uma pesquisa pode ser classificada em **quantitativa** e **qualitativa** (SILVA e MENEZES, 2000, p.20). Para uma pesquisa ser considerada quantitativa, faz-se necessário possuir algumas características que a identifiquem, tais como: uso de recursos e técnicas estatísticas - o que não acontece neste trabalho. Por outro lado, possui as características citadas por Merriam (1998) de uma pesquisa qualitativa:

- o foco da pesquisa é a essência;
- a linha filosófica é a fenomenologia ou interativismo simbólico;
- normalmente envolve o trabalho de campo;
- o objetivo da investigação é compreender, descrever, descobrir, gerar hipóteses, dar significados;
- o desenho da pesquisa se caracteriza pela flexibilidade, evolução e emergência;
- o pesquisador é o instrumento primário na coleta e análise dos dados da pesquisa;
- inicialmente emprega uma pesquisa de estratégia indutiva;
- o produto de um estudo qualitativo é descritivo, amplo e compreensivo.

Esta pesquisa, portanto, é predominantemente **qualitativa**.

1.5.2.3 Quanto aos objetivos

Quanto aos objetivos, uma pesquisa pode ser classificada como: **exploratória, descritiva e explicativa** (SILVA e MENEZES, 2000, p.21; GIL,1991,p.45). Esta possui características predominantemente **exploratórias**. Uma pesquisa deste tipo possui o foco mais amplo e aberto para a investigação de fenômenos mais complexos, pouco conhecidos e sistematizados, sendo estes passíveis de várias perspectivas de interpretação (VASCONCELOS, 2002). Empregam-se como procedimentos: pesquisa bibliográfica, entrevistas para identificar as características das empresas e da cadeia de suprimentos estudada e uma pesquisa participante, para validar a modelagem proposta em situação real.

1.5.2.4 Quanto aos procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser: **bibliográfica, documental, levantamento, experimental, estudo de caso, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa-ação** ou **pesquisa participante** (SILVA e MENEZES, 2000, p.21-22; GIL,1991,p.48).

Esta pesquisa compõe-se dos seguintes procedimentos técnicos:

- **Pesquisa bibliográfica:** a partir da identificação do tema do trabalho, efetuou-se uma pesquisa bibliográfica, com consulta a livros, anais de congressos, dissertações e teses defendidas, periódicos nacionais e internacionais, base de dados de universidades e da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), centros de pesquisa localizados na *world wide web (www)* e através de contatos mantidos com outros pesquisadores nacionais e internacionais.
- **Levantamento:** a pesquisa envolveu, também, um levantamento de dados junto aos componentes da cadeia de suprimentos selecionada para este trabalho. O objetivo desse levantamento foi conhecer o funcionamento de cada empresa em relação à cadeia e identificar o interesse desta em participar do projeto.
- **Pesquisa participante:** foi realizada para verificar a adequação da modelagem proposta à cadeia de suprimentos selecionada, podendo ser aprimorada com a participação dos componentes da cadeia, pela exposição de suas necessidades e pela percepção das inadequações existentes na modelagem previamente elaborada.

Vasconcelos (2002) mostra que a pesquisa participante possibilita aos pesquisadores uma convivência mais próxima, e por períodos de média ou longa duração, com os grupos selecionados para a investigação. O objetivo é interpretar internamente os grupos, seu

funcionamento e a sua subjetividade. Do ponto de vista da complexidade, a pesquisa participante representa um instrumento fundamental por três motivos: porque se destina ao reconhecimento da diferença; por reafirmar, mais enfaticamente, a necessidade de desconstrução e reelaboração da subjetividade e da visão de mundo do pesquisador, para ter acesso à subjetividade do outro; e, finalmente, por exibir a completa superação das perspectivas positivista e objetivista em pesquisas, marcadas pelo processo de interação entre o investigador e a realidade observada (VASCONCELOS, 2002).

Durante o desenvolvimento da pesquisa participante, utilizaram-se, como instrumentos de pesquisa, as **entrevistas semi-estruturadas** e a **observação participante**.

Para a avaliação dos dados apurados pela pesquisa qualitativa, utilizou-se a **ferramenta MICMAC** (Matriz de Impacto Cruzado versus Multiplicação Aplicada a uma Classificação), que foi empregada para analisar as interações mapeadas na cadeia de suprimentos, selecionada para validação da modelagem proposta nesse trabalho.

1.5.3 PRESSUPOSTOS BÁSICOS

Seguem-se os pressupostos básicos assumidos para a elaboração deste trabalho:

- A estrutura conceitual das Ciências da Complexidade pode ser uma alternativa viável para tratar os problemas, cada vez mais complexos, enfrentados pelas empresas;
- Os sistemas complexos são tratados por meio de ferramentas apropriadas a sistemas complicados. Se forem desenvolvidas modelagens adequadas às características dos sistemas complexos, é possível representar mais fielmente a realidade estudada;
- A passagem da análise, base do paradigma reducionista, para a concepção, compreensão e interpretação, base do paradigma sistêmico, amplia o conhecimento e a eficiência da intervenção do sujeito no objeto investigado;
- A cadeia de suprimentos é uma configuração organizacional que segue a lógica da complexidade, pois é formada de muitos componentes diferentes. Considera as interações dos componentes, possui comportamento difícil de gerenciar e prevê e que os componentes da cadeia devem ser analisados em conjunto. Logo, precisa ser modelada como um sistema complexo;
- Dado o aumento da complexidade inerente aos novos formatos organizacionais assumidos pelas empresas, é necessário o uso de ferramentas que considerem essa complexidade, ao invés de excluí-la.

1.5.4 ROTEIRO DA PESQUISA

Foi realizada, a princípio, uma pesquisa bibliográfica sobre os principais temas relacionados aos objetivos do trabalho:

- O termo complexidade e suas várias interpretações;
- O conceito de sistema associado à complexidade;
- As diferentes teorias desenvolvidas para tratar os sistemas complexos;
- As abordagens que demonstram a evolução da complexidade em níveis;
- A modelagem de sistemas complexos, mostrando as abordagens existentes;
- Os arranjos empresariais e as Ciências da Complexidade, destacando os conceitos das Ciências da Complexidade que se assemelham à nova lógica de organização empresarial e as contribuições que as Ciências da Complexidade podem trazer ao funcionamento de uma cadeia de suprimentos;

A partir dos temas discutidos, na pesquisa bibliográfica, e das análises efetuadas, foi desenvolvida a modelagem proposta no trabalho, testada em um caso real, para a devida validação. Para validar a modelagem proposta foi realizada uma pesquisa participante com a empresa focal selecionada e sua cadeia de suprimentos imediata. Esquemáticamente o roteiro da pesquisa pode ser representado, conforme Figura 1.

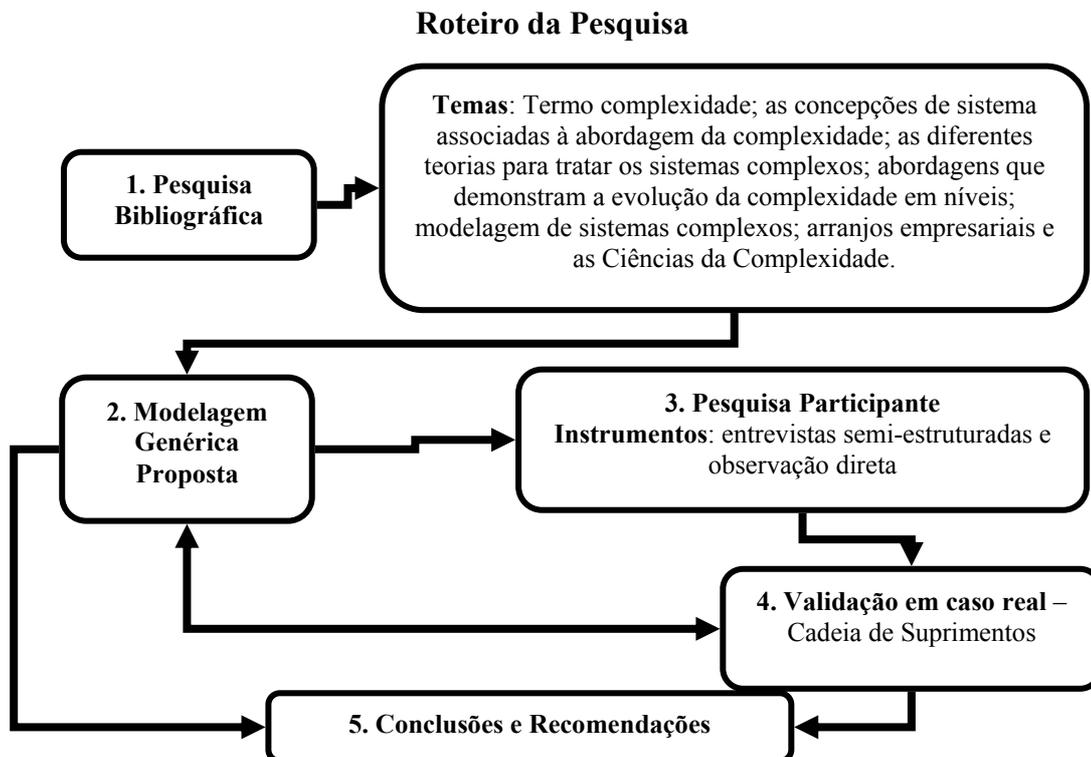


Figura 1: Roteiro da Pesquisa

Por fim, são discutidas as conclusões do trabalho e feitas sugestões para trabalhos futuros.

1.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

A intenção deste trabalho não é comparar modelos baseados no paradigma reducionista com modelos desenvolvidos a partir do paradigma sistêmico. Apenas propõe uma modelagem norteada pelo paradigma sistêmico e mostra a aplicabilidade dela em organizações empresariais. Não busca, tampouco, uma posição dogmática dentro das várias abordagens inerentes às Ciências da Complexidade (Cibernética, Teoria Geral dos Sistemas, Teoria dos Sistemas Dinâmicos e Teoria da Complexidade), destacando teorias melhores ou piores em relação às outras. Visa à complementaridade, utilizando conceitos das diversas teorias que compõem as Ciências da Complexidade.

Desenvolve-se uma modelagem que considera as características de funcionamento dos sistemas complexos. Não se pretende, contudo, discutir os méritos dos modelos desenvolvidos para intervir nos sistemas, considerando-os como complicados.

A modelagem de sistemas complexos, com a abordagem reducionista de Descartes, trouxe muitos progressos à ciência. Logo, a redução do sistema em partes, desconsiderando as interações, possui grande importância na evolução da ciência.

O que se discute, neste trabalho, é a riqueza de características perdidas em função da desconsideração das interações, da diversidade de elementos e da análise dos elementos ser realizada independente do seu conjunto.

De acordo com a pesquisa bibliografia, há uma carência de ferramentas apropriadas à representação e intervenção em sistemas complexos. No trabalho, algumas que apresentam características condizentes com o funcionamento dos sistemas complexos, são analisadas, sem o propósito, contudo, de esgotar o assunto, fechando-se esta lacuna.

A discussão sobre cadeia de suprimentos se restringe a evidenciar que a lógica dos novos arranjos empresariais, formados atualmente, apresenta semelhanças com a lógica de funcionamento dos sistemas complexos, sendo possível associar as duas abordagens e obter contribuições na gestão de um arranjo empresarial. Mas não se propõe aprofundar o estudo em questões relativas ao desempenho das cadeias de suprimentos, nem nos vários formatos de arranjos empresariais assumidos pelas empresas.

Não se tem a intenção de testar a modelagem proposta em uma cadeia de suprimentos inteira, apenas na empresa focal e sua cadeia de suprimentos imediata, nem, tampouco de testá-la em toda a cadeia imediata, apenas em duas empresas membros, uma a jusante e outra a montante da empresa focal. A modelagem é validada integralmente, mas os resultados são apresentados parcialmente, em decorrência da limitação da impossibilidade de explicitar as informações que são estratégicas para as empresas envolvidas.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos.

Neste (**Capítulo 1**) é feita a introdução ao trabalho, na qual se discutem a origem dele, o problema de pesquisa, os objetivos geral e específico, a justificativa. Consideram-se a relevância, o ineditismo e a dificuldade do tema, a metodologia, as limitações e a estrutura do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica em complexidade, sistema e evolução dos sistemas complexos. Discute-se, inicialmente, o termo “complexidade” e as várias concepções atribuídas a ele, de acordo com a área da ciência em que é utilizado e os interesses que levaram ao seu emprego. Em seguida, discorre-se sobre o termo “sistema” e sua associação aos fenômenos complexos, o que constitui o campo de estudo dos sistemas complexos, diferenciando-se dos sistemas complicados. Discutem-se as abordagens que evidenciaram a existência e as características dos sistemas complexos e as teorias que surgiram para tratá-los. E, finalmente, abordam-se algumas linhas que demonstram que a complexidade evolui em níveis.

O **Capítulo 3** rever na literatura temas como modelagem de sistemas complexos, iniciando com uma discussão sobre o termo modelagem e as influências exercidas pelos paradigmas da ciência dominante em cada época e sua relação com o tipo de modelagem utilizada. Logo após, destacam-se alguns aspectos necessários para se modelar um sistema e algumas ferramentas que podem representar sistemas complexos.

O **Capítulo 4** faz uma revisão na literatura sobre os arranjos empresariais e as Ciências da Complexidade. São discutidos os diferentes arranjos assumidos, atualmente, pelas empresas e suas características. Em seguida, discorrem-se sobre os conceitos e as características das Ciências da Complexidade, além das semelhanças entre os objetivos dos arranjos empresariais e das Ciências da Complexidade. Finalmente, abordam-se as

contribuições que a visão das ciências da complexidade pode trazer à formação e gestão de uma cadeia de suprimentos.

O **Capítulo 5** propõe a modelagem que norteou todo esse trabalho de pesquisa, para a modelagem de sistemas complexos sociais.

O **Capítulo 6** mostra a validação da modelagem proposta, em parte de uma cadeia de suprimentos imediata.

O **Capítulo 7** traz as conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

As Referências Bibliográficas são apresentadas em Capítulo próprio, seguidas pelo Glossário e pelos Apêndices.

CAPÍTULO 2: COMPLEXIDADE, SISTEMAS E EVOLUÇÃO

De início, este Capítulo discute o conceito de complexidade, o conceito de sistema e os tipos de sistemas. Em seguida, discorre-se sobre os sistemas complexos, as abordagens apropriadas para tratá-los e o surgimento da teoria da complexidade, após os quais são apresentadas abordagens que tratam da evolução da complexidade e a emergência de comportamentos complexos.

2.1 COMPLEXIDADE

Existem muitas definições para o termo “complexidade”. Algumas concepções enfatizam a complexidade do comportamento do sistema; outras evidenciam a estrutura interna do sistema ou seu funcionamento; ratificam-se, também, a complexidade de sua evolução; outras, enfatizam a complexidade auto-organizada. Em contrapartida, esse termo pode ser encontrado em vários campos, desde os sistemas naturais, representados pelos sistemas biológicos, físicos e químicos, até os sistemas artificiais, tais como: sistemas computacionais e estruturas organizacionais. Discutir cientificamente o significado do termo complexidade, portanto, requer a princípio, pesquisar o que denota a palavra complexidade.

Aleksandrowicz (2002) argumenta que as origens da ênfase na complexidade estão associadas ao forte impacto que as descobertas da Física, no início do século XX, tiveram sobre a forma de perceber o mundo natural. A introdução dos novos instrumentos teóricos, o conhecimento da matéria e da energia envolvidos, ao longo do tempo, nos fenômenos e processos naturais e em suas inter-relações ampliaram-se, incentivando extrapolações para outros campos do saber.

Abraham (2002) pesquisou a emergência do conceito de complexidade, a partir do século XX, a origem do qual, segundo o autor, vem dos clássicos estudos de Lotka, por volta de 1925. Tal descoberta pode ser verificada na obra *Elements of Physical Biology*. Mas, talvez, o primeiro texto direcionado inteiramente ao assunto tenha sido publicado na obra de Waddington, em 1977: *Tools for Thought*. A partir dos estudos de Lotka, surgiram várias publicações direcionadas ao estudo da complexidade, dentre os quais se destacam: Simon (1969), Forrester (1969), Waddington, (1977) e Nicolis e Prigogine (1989), dentre outros.

Morin (2001) destaca que o termo “complexidade” é muito mais uma noção lógica do que uma noção quantitativa. Ela possui, sempre, suportes e caracteres quantitativos que

desafiam os modos de cálculos, mas sua essência está numa outra noção a ser explorada, a ser definida, a noção qualitativa. A complexidade aparece, à primeira vista e de modo efetivo, como irracionalidade, incerteza, confusão e desordem. Para Dolan, Garcia e Auerbach (2003), o termo “complexidade” não comporta somente um tipo de comportamento exibido pelos sistemas; o termo corresponde a um conjunto de características que podem ser identificadas em muitos sistemas naturais. Incluem-se as organizações e seus processos. Apesar de todos os esforços para definir o termo complexidade, Suh (1999) menciona que, matemáticos, cientistas e engenheiros não aceitam uma definição comum para o significado desse termo. Há muitas interpretações para a palavra “complexidade”. Moses (2002), também, discute a existência de várias definições para o termo complexidade. Ele destaca a complexidade da estrutura interna do sistema, que está relacionada à funcionalidade, eficiência e flexibilidade desse sistema. Para Edmonds (1999), a complexidade é uma propriedade de um modelo que dificulta o estabelecimento do comportamento global numa linguagem específica. Esse fato ocorre até mesmo quando são oferecidas informações detalhadamente completas sobre os menores componentes e suas inter-relações.

Para Bar-Yam (1997,p.11), complexidade é uma palavra de múltiplos significados, como na expressão “complexidade crescente da vida”. Ele destaca que a ciência tem tentado compreender a complexidade da natureza, em contraponto com o tradicional objetivo científico de compreender a simplicidade fundamental das leis da natureza. Essa mudança de foco é observada por Morin (1977,p.102), quando argumenta que a idéia de compreender a simplicidade, por meio das leis da natureza, vem das conclusões de Newton, para quem a natureza obedece sempre às mesmas leis sob as mesmas condições.

Gell-Mann (1996,p.44) discute a questão da simplicidade e da complexidade relacionadas, respectivamente, à **complicação** e à **complexidade**. Ele nota que simplicidade se refere à ausência (ou quase ausência) de complexidade; complicação deriva da expressão que significa “que já foi dobrado”, complexidade vem de uma expressão que significa “trançados juntos”. Percebe-se que *plic* (para dobrar) e *plex* (para trançado) vêm da mesma raiz indo-européia *plek*. Nesse contexto, Bar-Yam (1997,p.1) ressalta que a palavra “complexo” significa partes interconectadas e entrelaçadas.

Heylighen (1988,p.3) discorre sobre a palavra complexo recorrendo à origem da palavra, em latim, *complexus*, que significa “enrolado”, “torcido,” junto. Disso se deduz que, para existir complexidade, são necessários: (1) que haja duas ou mais diferentes partes ou elementos; (2) que as partes ou elementos sejam conectadas por várias vias e sua separação

seja difícil. O conceito de complexidade apresentado por Heylighen possui uma base dual: ao mesmo tempo em que apresenta partes distintas, estas são unidas pelas conexões. As partes não podem ser separadas e analisadas independentes das conexões sem serem destruídas. Heylighen (2001,p.1) observa, ainda, que, devido à diversidade de abordagens dada ao termo complexidade, é válido tentar classificá-la. Para tanto cria uma definição que distingue a abordagem quantitativa da qualitativa e outra que distingue a abordagem estrutural da funcional. A abordagem quantitativa reúne dados numéricos sobre os diferentes níveis da complexidade, já a abordagem qualitativa avalia a influência do crescimento da informação no aumento da complexidade. A abordagem estrutural, se focaliza em subsistemas, englobados por supersistemas. A abordagem funcional se concentra nos níveis de processamento e controle da informação.

Burgin e Simon (1997,p.8) usam parte da classificação de Heylighen; consideram a complexidade estrutural e funcional, mas acrescentam alguns elementos novos. Para eles, a complexidade estrutural reflete a variedade de elementos e conexões, e a complexidade funcional reflete a variedade de funções e comportamentos.

Casti (1994) se refere ao termo “complexo” como sendo geralmente, usado para descrever pessoas ou objetos, constituídos de muitos componentes em interação, os quais possuem comportamentos e/ou estruturas difíceis de serem compreendidos. O referido autor ressalta o fato de que um sistema pode ser, por um lado, estruturalmente complexo, mas possuir um comportamento muito simples; por outro, pode ter uma estrutura muito fácil de ser compreendida, mas ter um comportamento impossível de prever. E que, ainda, existem sistemas, como, o cérebro humano, que são complexos em estrutura e comportamento.

Holling (2001, p.390) apresenta duas abordagens para a complexidade. A primeira vê a complexidade como algo incompreensível, devido ao grande número de elementos que interagem. A segunda sugere que a complexidade dos sistemas vivos, das pessoas e da natureza emerge não de associações aleatórias de um grande número de fatores interagindo, mas de um pequeno número de processos controlados. Senge (1998, p.42), também, apresenta duas abordagens para esse conceito: complexidade de detalhe e a complexidade dinâmica. Esta se refere a situações em que as mesmas ações produzem efeitos drasticamente diferentes, no curto e no longo prazo; aquela contém muitas variáveis.

Coveney e Highfield (2002,p.4) distinguem dois tipos de complexidade: a matemática e a científica. O primeiro se define em termos de números de operações matemáticas

necessárias para resolver um problema. O segundo estuda o comportamento de grupos macroscópicos dentro de cada unidade, com potencial para evoluir no tempo.

Sussman (2002,p.11) observa que a complexidade pode ser: comportamental, estrutural e evolutiva. A comportamental diz respeito à dificuldade de prever o comportamento devido ao efeito emergente da complexidade; a estrutural se refere à estrutura interna do sistema; a evolutiva corresponde à existência de muitos e diferentes observadores com diversos pontos de vista sobre o desempenho de um mesmo sistema. Nesse sentido, Burke (2000, p.10) nota que a complexidade observada nos fenômenos está relacionada ao esquema mental usado pelo observador para descrevê-la.

Wu (2002,p.1) argumenta que o termo “complexidade” tornou-se um “chavão” que perpassa muitos campos da ciência e com vários significados. Cita a complexidade estrutural, que se refere à configuração do sistema; a complexidade funcional, que enfatiza a heterogeneidade e a não-linearidade da dinâmica do sistema; e a complexidade auto-organizada, que depende das propriedades emergentes do sistema ao co-evoluírem com o ambiente. Inicia-se por meio de interações locais; depois, por *feedbacks* em diferentes escalas espaço-temporais. Wu (1999,p.3) menciona, também, que a compreensão desse termo está relacionada às propriedades do sistema, tais como: número de elementos, número de relações, percepções, interesses e capacidades do observador.

Para Axerold e Cohen (2000,p.15), “complexidade” não significa, simplesmente, muitas partes em movimento. O conceito desse termo pressupõe que o sistema consiste de partes que interagem, influenciando fortemente as probabilidades de ocorrência de eventos futuros. Stacey (1996, p.285) discute que a complexidade pode ser definida como efetiva e potencial. A efetiva está relacionada ao tamanho do esquema capaz de descrever o comportamento do sistema e torná-lo compreensível. A potencial é representada pelo potencial que os sistemas complexos adaptativos têm para criar uma nova complexidade efetiva, a partir de uma pequena mudança no esquema. As complexidades potencial e efetiva, juntas formam uma barreira de instabilidade. Sistemas, nesse estado, operam numa fase intermediária entre a instabilidade e a estabilidade.

Num sentido mais direcionado Gell-Mann (1996,p.45) distingue alguns tipos de complexidade: a rudimentar, a algorítmica, a efetiva e a potencial. A complexidade rudimentar está diretamente relacionada ao tamanho da mensagem que descreverá o sistema. A descrição depende do nível de detalhe requerido, do contexto, do observador e do equipamento utilizado para fazer a observação. A complexidade algorítmica descreve um

sistema num determinado nível de detalhe, considerando uma linguagem e codificando-a em uma cadeia de dígitos 1 e 0. Cada escolha de 1 ou 0 é conhecida como *bit* (*binary digit*). Ela é binária porque há apenas duas escolhas possíveis; enquanto com os dígitos usuais do sistema decimal há dez alternativas para escolha. Por isso, a quantidade de informação definida pelo sistema é denominada “complexidade algorítmica,” “conteúdo de informação algorítmica” ou “randomicidade algorítmica”. A complexidade efetiva está relacionada à natureza do sistema. Ela se caracteriza pela aprendizagem e pela evolução, exigindo a habilidade de distinguir os padrões de regularidade e aleatoriedade que ocorrem num sistema. A complexidade potencial é um complemento para a complexidade efetiva. Quando uma pequena mudança em um esquema permite um sistema complexo adaptativo criar uma grande quantidade de complexidade efetiva, em determinado período de tempo, o esquema modificado pode ser considerado como tendo aumentado o valor da complexidade potencial naquele intervalo de tempo.

Morin (1977,p.105) considera que a complexidade ocorre entre a ordem e a desordem. É preciso opor e ligar essas duas tendências, pois elas são relacionais e relativas e estabelecem noções mediadoras: a idéia de interação, que une os elementos, a idéia de transformação, que pode organizar ou dispersar os elementos; a idéia de organização, que nasce das interações e transformações. A ligação fundamental entre essas idéias é a natureza dialógica da complexidade.

A dialógica, segundo Morin (1977,p.105), representa a simbiose de duas lógicas que, ao mesmo tempo, se alimentam, competem entre si, parasitam-se mutuamente, se opõem e se combatem até a morte. Assim, a ordem e a desordem são conceitos simultaneamente indistintos, complementares, concorrentes, antagônicos e incertos.

Na visão de Waldrop (1992), a complexidade só pode existir se tanto a ordem quanto a desordem estiverem presentes no sistema. Esses aspectos contraditórios devem co-existir em proporções equilibradas, de modo que não tornem o sistema perfeitamente ordenado, nem completamente desordenado, a ponto de não existir uma estrutura delimitada. Em outras palavras, o sistema deve operar à beira do caos.

Nesta seção, apresentou-se uma seleção de conceitos do termo complexidade. Da observação desses conceitos, pode-se notar que eles não apresentam um significado homogêneo, nem uma aplicação reservada à determinada área da ciência. O termo é multidisciplinar e assume diferentes abordagens, de acordo com o interesse do estudo e com o grau de percepção do observador. Além disso, o termo complexidade pode ser empregado

fora do contexto das Ciências da Complexidade, como forma de expressar o aumento de inter-relações num setor, como na expressão: “o crescente aumento da complexidade do setor automobilístico” ou na expressão “o complexo industrial brasileiro” para expressar a quantidade de indústrias, a diversidade de atividades industriais e as inter-relações entre elas. Por isso, a intenção é discutir os conceitos e não buscar um conceito padrão ou indicar a definição mais correta para o termo.

Neste trabalho, assume-se que a complexidade está presente na estrutura do sistema, no seu comportamento e na sua evolução, de acordo com Sussman (2002), Burke (2000) e Wu (2002).

2.1.1 SUMÁRIO DAS ABORDAGENS DO TERMO COMPLEXIDADE

As abordagens apresentadas na seção 2.1 foram sumarizadas no Quadro 3 e são apresentados em seqüência.

Nota-se que a complexidade é reconhecida como característica de vários fenômenos de existência natural ou artificial, mas suas abordagens, usualmente, são muito abstratas e, por isso, de difícil compreensão e intervenção. A idéia de associar o conceito de sistema à complexidade foi estabelecida como resposta à insatisfação com a ciência dominante até metade do século XIX, a qual refletia os preceitos do reducionismo. Assim, houve a percepção de que, para compreender e intervir em fenômenos com características complexas, é necessário associar o conceito de complexidade ao conceito de sistema (MORIN, 1977; LE MOIGNE, 1977).

Áreas	Abordagem para o Termo Complexidade
Aleksandrowicz (2002) Ciências da Complexidade	Origem da complexidade.
Abraham (2002) Ciências da Complexidade	Origem da complexidade e trabalhos que a originaram.
Dolan, Garcia, Auerbach (2003) Sistemas Organizacionais	Abrangência do termo complexidade.
Suh (1999) Engenharia	Abordagem de processo e de escala. Trata da dificuldade de definir o termo complexidade.
Moses (2002) Sistemas Artificiais	Abordagem estrutural.
Edmonds (1999) Modelagem de Sistemas	Dificuldade de mensuração.
Bar-Yam (1997) Sistemas Complexos	Abordagem geral. Trata da origem da Complexidade e da Simplicidade.
Gell-Mann (1996) Sistemas Biológicos	Abordagem geral. Trata da origem da complexidade, simplicidade e complicação. Relaciona os conceitos à estrutura de suas partes. Distingue a complexidade em tipos: rudimentar, algorítmica, efetiva e potencial.
Heylighen (1999) Física e Ciências Cognitivas	Abordagens qualitativa, quantitativa, estrutural e funcional.
Burgin e Simon (1997) Matemática	Abordagem estrutural e funcional.
Casti (1994) Sistemas Organizacionais	Abordagem estrutural e comportamental. A complexidade pode estar na estrutura, no comportamento ou em ambos.
Holling (2001) Sistemas Naturais e Humanos	Abordagem comportamental. A complexidade é vista como algo incompreensível ou como algo controlável.
Senge (1998) Sistemas Organizacionais	Abordagem estrutural e comportamental.
Coveney e Highfield (2002) Sistemas Caóticos	Abordagem estrutural e funcional. Complexidade matemática e complexidade científica.
Sussman (2002) Sistemas de Transporte	Abordagens comportamental, estrutural e evolutiva.
Burke (2000) Sistemas Cognitivos	Abordagem que relaciona a percepção da complexidade ao esquema mental do observador.
Wu (1999, 2002) Sistemas de Informação e Ecológicos	Abordagens estrutural, comportamental e auto-organizada. Relaciona as propriedades do sistema, as percepções, as capacidades e os interesses do observador.
Axerold e Cohen (2000) Sistemas Sociais	Abordagens estrutural e comportamental.
Stacey (1996) Sistemas Complexos Adaptativos	Abordagens potencial e efetiva.
Morin (1977) Sociologia	Abordagens estrutural, comportamental e auto-organizada. Comportamento dialógico da complexidade.
Waldrop (1992) Sistemas Complexos	Comportamento dialógico da complexidade

Quadro 3: Principais abordagens para o termo complexidade

Na próxima seção, serão discutidas questões relativas ao conceito de sistema e sua importância no avanço dos estudos da complexidade.

2.2 SISTEMAS

Para entender o surgimento do conceito de sistema, é preciso retroceder à ciência clássica para analisar como os fenômenos eram percebidos e tratados. A ciência clássica se fundamentou nos preceitos da objetividade. Para ela, o universo era constituído de objetos que podiam ser isolados no espaço e no tempo e obedeciam a leis universais. O objeto é uma entidade fechada e distinta que se define isolando suas características e suas propriedades do observador e do ambiente (MORIN,1977).

Na visão da ciência clássica, conhecer um objeto é conhecer sua situação no espaço (posição, velocidade), suas qualidades físicas (massa, energia), suas propriedades químicas e as leis gerais que agem sobre ele. Esta visão começou na Física e se propagou em outras ciências, no decorrer do século XIX, trazendo grandes progressos, como a descoberta da molécula, na Biologia. Assim, o método reducionista ganhou notoriedade pela capacidade de caracterizar, descrever, decompor um objeto em alguns elementos simples e neles intervir de forma eficaz (MORIN, 1977; LE MOIGNE, 1977; BAR-YAM, 1997; PIGLIUCCI, 2000).

Por outro lado, da mesma forma que a Física Clássica iniciou e difundiu as vantagens de tratar os fenômenos como objetos isolados, foi nela, também, em que, no início do século XX, se operou uma reviravolta na ciência. O átomo de unidade irreduzível e indivisível passou a ser considerado um sistema constituído de partículas em interações mútuas. Segundo Morin (1977), a partir de então, o átomo surge como objeto organizado ou sistema cuja explicação não pode mais ser encontrada unicamente na natureza de seus constituintes elementares, mas na natureza organizacional e sistêmica, a qual transforma o caráter dos componentes. Essa mudança ocorreu pela percepção de que os objetos têm uma realidade própria. Além das características físicas, possuem capacidade de interação consigo mesmo e com outros objetos, capacidade de organização e propriedades emergentes, as quais sofrem a influência do ambiente e do observador. Dessa forma, o método reducionista não é mais apropriado para tratar com sistemas que exibem tais características.

Assim, a introdução da idéia de sistema nos estudos científicos levou a uma exagerada atribuição do termo aos objetos, sem haver uma adequada reflexão sobre o que realmente significa o conceito de sistema. Em outras palavras, muda a terminologia, mas nem sempre muda a percepção de objeto estável e redutível para objeto dinâmico, sistêmico e organizado. Morin (1977) argumenta que isso ocorreu devido à concepção dual do termo sistema, que, por um lado, está intimamente relacionado à substância que o constitui e às leis gerais que o regem; por outro, está relacionado à heterogeneidade dos seus componentes e ao modo de

organização. Por isso, Foster, Kay e Roe (2001) observam que o campo de estudo que contempla o conceito formal de sistema é relativamente novo e encampa áreas muito diversas.

Na próxima seção, para tanto, discorrem-se alguns conceitos atribuídos ao termo.

2.2.1 O CONCEITO DE SISTEMA

Após o reconhecimento da idéia de sistema, o termo foi difundido e utilizado em muitos campos, além da Física. Morin (1977) destaca que em todos os horizontes físicos, biológicos e antropos-sociológicos, impõe-se o fenômeno sistema.

Assim, cria-se uma concentração de sistemas, cuja arquitetura se constitui de encadeamentos de sistemas que se sobrepõem e se superpõem uns aos outros, dificultando a delimitação de suas fronteiras. Koestler (1968) desenvolve a idéia de *holon* para designar a aptidão característica dos sistemas de se entrearquitar, de se formarem uns sobre e a partir de outros, cada um podendo ser, ao mesmo tempo, parte e todo.

Apesar do intenso uso do termo sistema, os conceitos a ele atribuídos derivavam, em sua maioria, da idéia de conjuntos matemáticos, o que limitava a magnitude de sua atuação. Le Moigne (1977) ressalta que poderia citar mais de cem definições diferentes da palavra “sistema” começadas pela frase: *um sistema é um conjunto...* Definição tida como legítima por muito tempo, sendo o suporte de um representativo número de desenvolvimentos em *análise de sistema*. Leibniz, em 1666, citado por Morin (1977) descreve um sistema como um conjunto de partes. Nesse sentido, este autor destaca a definição que sobreviveu dos meados do século XVII até a primeira metade do século XX, com o surgimento dos sistemistas: “um sistema é uma inter-relação de elementos constituindo uma entidade ou uma unidade global.” A definição avança por refletir a idéia de globalidade e a idéia relacional. Outras definições indicam que um sistema não é necessariamente composto de partes. Mesarovic (1962) define um sistema como um conjunto de estados, ou conjunto de acontecimentos, ou de reações. Morin (1977) argumenta, ainda, que foi com a definição de Ferdinand de Saussure, em 1931, que o conceito de sistema adquiriu a idéia de sistemismo, pois associou os conceitos de organização, totalidade e inter-relação ao conceito de sistema.

Até então a organização era um conceito ausente na maioria das definições de sistemas, sendo ressaltados ora o conceito de totalidade, ora de inter-relação, ora os dois. Assim, Morin concebe o conceito de sistema, incorporando a ele a visão sistêmica dos objetos: “um sistema é uma unidade global organizada de inter-relações entre elementos, ações e indivíduos” MORIN (1977,p.132). Um sistema é uma representação de um recorte da

realidade, que pode ser analisado como totalidade organizada, com um funcionamento característico (GARCÍA,2002). Burke (2000) apresenta o conceito de sistema como um todo complexo; uma entidade integrada de componentes heterogêneos que agem de forma coordenada.

Tanto Morin (1977) quanto Le Moigne (1977) demonstram uma preocupação com o uso do termo sistema conotando linguagens diferentes. Em muitos casos apresenta, apenas, uma linguagem conjuntista, desconsiderando a idéia sistêmica e organizacional, essência do termo. Em outras palavras, o que os autores ressaltam é a falta de universalidade para o termo.

A partir da incorporação do conceito de sistema à ciência e às questões relativas a sua utilização, o termo sistema complexo é freqüentemente mencionado na literatura. Isso leva a se questionar sobre a existência de outros tipos de sistemas, além dos sistemas complexos.

A próxima seção trata dos tipos de sistemas existentes na natureza.

2.2.2 TIPOS DE SISTEMAS

Em algumas situações, o termo sistema é associado ao adjetivo complexo, sem que haja uma explicação do que venha a ser um sistema complexo. A literatura disponível sobre o assunto, usualmente, não distingue sistemas complexos de outros tipos de sistema. A carência de uma distinção formal dos tipos de sistema dificulta o entendimento e o modo adequado de intervenção nesse universo.

A própria propagação e replicação do termo sistema, associada à forma como foi incorporado em campos interdisciplinares, que envolvem a Física, a Química, a Biologia, a Astronomia, a Sociologia, a Antropologia, a Psicologia e a Economia, contribuiu para o surgimento de denominações diferentes e interpretações limitadas desse termo. Morin (1977) destaca que todas as áreas incorporam o termo sistema, mas não explicam o que é um sistema.

Assim, observa-se que há uma grande quantidade de denominações que varia conforme a área que utiliza o termo sistema. Na Física: sistemas lineares, determinísticos, caóticos, estocásticos. Na Química: sistemas dissipativos. Na Astronomia: sistemas evolutivos. Na Cibernética: sistemas especialistas e artificiais. Na Biologia: sistemas vivos e auto-organizados. Estes são exemplos de designações específicas de cada área da ciência, as quais interpretam o conceito de acordo com objetivos próprios e aplicam-lhe uma denominação condizente. Contudo, não há uma clara preocupação em distinguir um sistema

simples de um complexo, havendo situações em que objetos simples, como os denominados pela ciência clássica, são ditos como sistemas complexos. Isso gera incompreensão do que diferencia um sistema simples de um complexo. A esse respeito, Bar-Yam (1997) argumenta que a denominação dada ao sistema, pelos diferentes campos de estudo, está mais relacionada ao tipo de questão que se trata do que aos sistemas estudados e ao tipo de análise empregada.

Dessa forma, apresentam-se denominações mais gerais, as quais poderiam nortear o uso do termo sistema complexo, em quaisquer campos do conhecimento e, assim, adotar o tratamento mais apropriado ao tipo de situação estudada.

Basicamente, existem dois tipos de sistemas: os **sistemas complicados** e os **sistemas complexos**. Os primeiros são formados por partes que podem estar desconectadas do todo, uma das quais pode representar o todo, com comportamento previsível. Já os **sistemas complexos** são formados por partes em conexão com o todo. Da interação entre as partes e o todo, emergem comportamentos imprevisíveis, fato que impossibilita uma parte representar o todo. Le Moigne (1977) destaca que a passagem da complicação à complexidade implica um limiar, uma mudança de método intelectual. Prigogine e Stengers (1988) ressaltam que é muito difícil definir a diferença entre simples e complexo, pois há uma mistura entre eles que se relacionam, sem se oporem.

2.2.2.1 Sistemas complicados

A denominação sistema complicado está associada à visão do paradigma reducionista. Iniciado com a ciência clássica, continuou com Descartes, no século XVII, e dominou a ciência até o início do século XX. Essa percepção reduz os fenômenos ao próprio desempenho das partes, desconsiderando as conexões entre elas.

Assim, os sistemas complicados são constituídos por redes complicadas, ligando elementos identificáveis, com comportamentos enumeráveis e pouco numerosos (LE MOIGNE, 1977). Snowden (2003) considera que um sistema complicado é composto de inúmeros componentes, podendo ser identificáveis e definidos, as relações entre os quais, também, podendo ser identificadas e definidas. Dessa forma, as causas e os efeitos podem ser separados, compreendendo suas ligações e sendo possível controlar os resultados. O sistema pode ser melhorado pela otimização das partes, uma vez que o todo não é mais nem menos que a soma delas. Um sistema complicado é formado de muitas partes ou elementos que se comportam dentro de um padrão periódico regular (HEYLIGHEN, 1988).

A descrição e o tratamento dados aos sistemas denominados complicados são de estabilidade, linearidade, previsibilidade e controle. Eles supõem um conhecimento perfeito e imutável de um universo fechado, o qual não existe na realidade.

2.2.2.2 Sistemas Complexos

Durante o século XX, um número considerável de descobertas questionou os pressupostos do método reducionista. Foster, Kay e Roe (2001) argumentam que, na Física, a mecânica quântica demonstrou que, no nível micro, a previsibilidade e o perfeito conhecimento dos fenômenos são impossíveis de serem atingidos. Já no nível macro, a Ecologia e a Cibernética revelaram as limitações do tratamento dos sistemas complexos de forma linear.

Os sistemas complexos, ao contrário dos complicados, possuem, como principais peculiaridades, interconexão e entrelaçamento. Eles não existem em partes independentes.

Dessas observações, inicia-se uma efetiva busca por características que identifiquem a complexidade de um sistema. Na seqüência, apresentam-se algumas das abordagens mais importantes a esse respeito.

2.2.2.2.1 Abordagem de Heylighen

Na visão de Heylighen (1988), um sistema complexo possui três características comuns: *quantidade*, *imprevisibilidade* e *dificuldade*. O sistema possui duas ou mais partes, ou elementos diferentes, as quais são conectadas ou entrelaçadas; o comportamento destes é *imprevisível*. O comportamento imprevisível se torna, ainda, mais aparente na dinâmica do sistema, quando ele interage com outros sistemas, com ele mesmo e com o observador; quando evoluem, as mudanças experimentadas são imprevisíveis. A evolução do sistema não pode ser guiada, o gerenciamento do comportamento do sistema complexo é *difícil* de conseguir.

2.2.2.2.2 *Abordagem de Bar-Yam*

Bar-Yam (1997) argumenta que, para compreender o comportamento do sistema complexo, é necessário entender não somente o comportamento das suas partes, mas também como elas agem juntas para formar o comportamento do todo. Assim, pela impossibilidade de descrever o todo sem descrever cada parte e pelas partes serem descritas em relação a outras partes, os sistemas complexos são difíceis de se compreender. O referido autor apresenta dois conceitos-chave para o estudo dos sistemas complexos: **emergência** e **complexidade**. O objetivo é compreender como a complexidade está relacionada à emergência.

Nesse sentido, existem duas abordagens para organizar as propriedades de um sistema complexo, a primeira das quais diz respeito ao relacionamento entre elementos, partes e todo, e a segunda corresponde à compreensão da complexidade.

Para isso, Inicia-se pela pergunta: o que faz um sistema complexo? Para responder à questão, descreve-se o sistema por meio das funções e da estrutura dele. Logo após, identificam-se as propriedades comuns entre os sistemas. Na seqüência, organizam-se as propriedades dos sistemas complexos investigando-se a emergência e a complexidade destes.

A **emergência** é uma propriedade dos sistemas complexos que não pode ser percebida pela análise física do sistema, apenas considerando suas partes isoladas. Deve-se considerar, não apenas suas partes isoladamente, estudando-se, cada parte no contexto do sistema como um todo. Existem dois tipos de emergência: local e global. Na emergência local, o comportamento coletivo surge em pequenas partes do sistema. Na emergência global, o comportamento coletivo pertence ao sistema como um todo. A emergência global é particularmente relevante para o estudo dos sistemas complexos, pois estes possuem o comportamento coletivo dependente do comportamento de todas as suas partes. Este conceito torna-se mais preciso quando conectado à mensuração quantitativa da complexidade.

O segundo conceito - central para os sistemas complexos - é a mensuração quantitativa do grau de **complexidade** do sistema. Bar-Yam (1997) argumenta que a complexidade do sistema está relacionada à quantidade de informação necessária para descrevê-la e depende do nível de detalhe requerido para a sua descrição. O autor recomenda o uso de ferramentas estatísticas e da Ciência da Computação para essa tarefa. É essencial definir o perfil da complexidade do sistema em função da escala de observação, pois se

considera uma escala macroscópica ou microscópica, dependendo dos objetivos do observador. Nesse sentido, Gell-Mann (1996) apresenta o conceito de granulação grosseira, que significa **nível de detalhe**. Ele diz que, para definir a complexidade, é sempre necessário especificar o nível de detalhe com o qual o sistema é descrito. Considera, também, que o conceito de complexidade está diretamente ligado ao contexto, e é subjetivo. Destaca que o observador e o equipamento utilizados para fazer a observação são fundamentais.

2.2.2.2.3 *Abordagem de Casti*

Casti (1994) sugere que, para se tratar com sistemas complexos, se inicie por apresentar características que o diferencie dos sistemas simples. Ele denomina essas características como “impressões digitais” da complexidade.

- *Instabilidade*: sistemas complexos tendem a possuir muitos modos possíveis de comportamento; mudanças entre esses modos são, freqüentemente, resultados de pequenas mudanças em alguns fatores que controlam o sistema.
- *Irreduzibilidade*: sistemas complexos resultam num todo unificado. Eles não podem ser compreendidos nem pela desintegração das partes que os compõem, nem pela análise de suas partes isoladas. O comportamento do sistema é determinado pela interação entre as partes, e qualquer desintegração do sistema destrói muitos aspectos da individualidade dele.
- *Adaptabilidade*: os sistemas complexos tendem a ser compostos de muitos agentes inteligentes, que tomam decisões e agem com base em informações parciais sobre o sistema inteiro. Mas esses agentes são capazes de mudar as próprias regras de decisões, com base nas informações adquiridas.
- *Emergência*: sistemas complexos produzem padrões comportamentais e propriedades que não podem ser previstos pelo conhecimento de suas partes isoladas. As propriedades emergentes são as mais evidentes características que distinguem um sistema complexo de um sistema simples.

2.2.2.2.4 Abordagem de Morin

Morin (1977) associa o conceito de sistema complexo ao de inter-relação, de organização e de emergência. A idéia de *inter-relação* remete aos tipos e formas de ligação entre elementos ou indivíduos e entre estes elementos e o todo. A idéia de sistema remete à unidade complexa do todo *inter-relacionado*, suas características e propriedades fenomenais. A idéia de *organização* remete à disposição das partes em relação ao todo.

A *organização* é um encadeamento de relações entre componentes e indivíduos que produzem um sistema complexo, dotando-o de qualidades desconhecidas quanto aos componentes ou indivíduos. A organização confere estabilidade às relações, possibilitando uma certa duração ao sistema, apesar das perturbações aleatórias.

As *emergências* são as qualidades ou propriedades de um sistema que apresentam um caráter de novidade com relação às qualidades ou propriedades dos componentes isolados ou dispostos diferentemente em um outro tipo de sistema. A emergência apresenta três pressupostos.

- *O todo é mais do que a soma das partes*: o sistema possui algo mais do que seus componentes considerados de modo isolados - sua organização, a própria unidade global, as qualidades e propriedades novas que emergem da organização e da unidade global. Esses três termos são entrelaçados e difíceis de serem separados. Morin (1977) destaca as *emergências globais*, ressaltando que todo estado global apresenta qualidades emergentes. O átomo, por exemplo, cita como um sistema que dispõe de propriedades, tal qual a estabilidade com relação às partículas que o constituem. A estabilidade confere autonomia de atividades às partículas que integram o átomo. Também apresenta as *microemergências*, nas quais a emergência é um produto da organização que aparece não apenas no plano global, mas, eventualmente, no plano dos componentes, apesar de inseparável do sistema como todo. A *realidade da emergência* comporta a idéia de qualidade, produto, globalidade e novidade. Tais idéias precisam estar interligadas para se compreender a emergência. A *emergência da realidade* é logicamente indedutível e fisicamente irreduzível. Elas se perdem se o sistema se dissocia; como a arquitetura da natureza é constituída de vários sistemas, é fundamental discutir a noção de emergência. Por fim, a *emergência da emergência* faz surgir a globalidade.
- *O todo é menos do que a soma das partes*: toda organização comporta diversos níveis de subordinação quanto aos componentes. Em todo sistema, há coesões sobre as partes. Estas

impõem restrições e servidões, que fazem-no perder ou inibem qualidades e propriedades. Nesse sentido, o todo é, portanto, menos do que a soma das partes. Deve-se considerar, em todo sistema, não somente o ganho de emergências, mas também a perda por imposições, repressões e subordinações. Um sistema não é apenas enriquecimento, é, também, empobrecimento. Por isso, é essencial observar em que proporções há enriquecimento e empobrecimento.

- *A formação do todo e as transformações das partes*: um sistema é um todo que toma forma ao mesmo tempo em que seus elementos se transformam. A idéia de emergência é inseparável da idéia de criação de uma forma nova que constitui um todo. A organização transforma uma diversidade descontínua de elementos em uma forma global.

2.2.2.2.5 *Abordagem de Gino*

Gino (2002) define um sistema complexo como uma rede de muitas interações e elementos inter-relacionados, cada um desempenhando as próprias funções. Os elementos são combinados de forma que cada um contribua para o comportamento da estrutura e do desempenho global. Sussmann (2002), em consonância com a abordagem de Gino, considera um sistema complexo quando é composto de um grupo de unidades relacionadas, para o qual o grau e a natureza dos relacionamentos são imperfeitamente conhecidos. Gino apresenta algumas características que tornam os sistemas complexos difíceis de serem controlados.

- *Interdependência*: as unidades ou subsistemas são conectados. Os efeitos da ação de controle na unidade dependem de ações simultâneas tomadas por outras unidades, para controlar os próprios resultados. Gerenciar interdependências pode ser fácil e difícil ao mesmo tempo, desde que existam diferentes tipos de interdependência. Por exemplo, as relações lineares não são difíceis de serem representadas, já os relacionamentos de interdependência entre as unidades não-lineares, sim.
- *Números de estados que podem ser assumidos pelas unidades do sistema*: o grande número de estados que podem ser assumidos pelas unidades do sistema é a maior dificuldade para representar os sistemas complexos. Nesse aspecto, destacam-se: *a variedade e a variabilidade*. Esta ocorre quando a unidade pode ser predisposta para produzir várias quantidades do mesmo resultado. Aquela existe quando as unidades de produção são predispostas no sentido de produzir vários tipos de resultados. Os sistemas,

ao assumirem várias configurações, apresentam dificuldade de representação, tornando-se um grande problema para o gerenciamento dos sistemas complexos.

- *Incerteza*: todo sistema responde a condições externas, tendo como base o próprio estado dele. Nos sistemas complexos, nem sempre essas condições, para as quais o sistema dará respostas e seu próprio estado, são previsíveis. Como consequência, um sistema complexo é caracterizado por um grande número de interdependências, várias configurações possíveis e dificuldade de reconhecer, quais destas são preferíveis para determinada situação.
- *Irreversibilidade*: esta última característica indica a existência de um custo conectado à mudança de estado do sistema. O papel da irreversibilidade pode ser melhor compreendido se associado à incerteza. Quando não existe irreversibilidade, o sistema é capaz de observar todos os valores relevantes que mantêm as variáveis imutáveis e agir, antecipadamente, no próprio controle da variável. Já quando existe irreversibilidade, o sistema não é capaz de ser descrito por inteiro, identificando-se, nesse caso, a presença de elementos complexos.

2.2.2.2.6 Abordagem de Perrow

Para Perrow (1984), um sistema complexo é formado por componentes em interações complexas. As falhas ocorridas em um componente, portanto, afetam muitas outras. No caso de um componente ser usado para vários propósitos, caso haja falha, torna-se difícil prever as interações afetadas, pois, como os componentes são associados, conseqüentemente, as falhas são rapidamente propagadas pelo sistema.

O autor usa o termo “linear” em oposição ao termo “complexo”, quando descreve as interações entre os componentes ou subsistemas. As interações lineares ocorrem numa seqüência esperada; as complexas podem ocorrer em seqüência inesperada.

Sequem-se alguns aspectos os quais caracterizam os sistemas complexos:

- proximidade de componentes que não são produzidos em seqüência;
- muitos modos comuns de conexão entre componentes na seqüência de produção;
- *loops de feedbacks* não intencionais;
- muitos parâmetros de controle com interações potenciais;

- compreensão limitada de alguns processos;
- fontes de informação indiretas.

2.2.2.2.7 *Abordagem de Wu*

Na visão de Wu (1999), todo sistema complexo tende a ter um grande número de componentes interagindo de modo complexo, motivo pelo qual se torna difícil de ser tratado. Wu (2002) observa, ainda, que o mundo é repleto de todos os tipos de sistemas complexos, sejam eles ecológicos, sociais, econômicos ou políticos. Independente disso, eles compartilham algumas características comuns, tais quais:

- são termodinamicamente abertos, ou seja, trocam energia e/ou matéria com o ambiente;
- são freqüentemente compostos de um grande número de diferentes componentes;
- os componentes do sistema interagem uns com os outros de modo não-linear, freqüentemente, ocorrendo *loops de feedback* entre eles;
- exibem alto grau de heterogeneidade no tempo e no espaço.

O autor conclui destacando que, por conseqüência, os sistemas complexos são caracterizados por propriedades emergentes, interações em multi-escalas, comportamento imprevisível e auto-organização.

2.2.2.2.8 *Abordagem de Iarozinski*

Para Iarozinski (2001), um sistema pode ser considerado complexo quando o observador lhe atribui as seguintes características:

- o sistema é constituído por uma grande variedade de componentes ou elementos, com funções específicas e comportamentos variados;
- os elementos estão em constante evolução e são influenciados por eventos que não podem ser previstos com certeza;
- a informação sobre o estado de todos os elementos não pode ser conhecida com segurança;
- os diversos elementos estão unidos por uma grande variedade de inter-relações.

2.2.2.2.9 Abordagem de Baranger

Baranger (199-?) observa que, atualmente, a noção de sistema complexo não está precisamente delineada, o que considera normal. Quanto mais as pessoas estudam os sistemas complexos, a idéia de sistema complexo torna-se ainda mais confusa, diferindo-se de autor para autor. Para melhor compreendê-los, o autor enumera algumas propriedades:

- os sistemas complexos contêm muitos elementos constituintes, que interagem não-linearmente;
- os elementos constituintes do sistema complexo são interdependentes;
- os sistemas complexos possuem estrutura a qual engloba várias escalas. Como exemplo, o autor cita o corpo humano. A 1ª escala é composta de cabeça, tronco, membros....; a 2ª escala, de ossos, músculos, estômago, sangue, nervos....; a 3ª escala é constituída de células, cada uma das quais com seu núcleo, mitocôndria, citoplasma....; a 4ª escala é composta de cromossomos contidos no DNA, especialmente moléculas de proteína, cada uma desempenhando um papel especial.... Em todas as escalas, encontra-se uma estrutura, isto é, um aspecto essencial e radicalmente novo dos sistemas complexos e ela leva à próxima propriedade;
- um sistema complexo é capaz de comportamento emergente. A emergência acontece quando o foco de atenção é mudado de uma escala para outra mais ampla. Um certo comportamento observado em determinada escala é dito emergente se ele não pode ser compreendido pelo estudo individual de cada constituinte dessa escala;
- os sistemas complexos evoluem na interface entre o caos e o não-caos. Isso equivale à definição de Morin (1977) de que os sistemas complexos existem entre a ordem e desordem, para indicar que eles possuem um misto de controle e de incerteza;
- os sistemas complexos evoluem na interface entre a competição e a cooperação. Trata-se de uma interface entre as escalas. A situação usual é que a competição, numa escala n , é nutrida pela cooperação numa escala diferente abaixo dela ($n - 1$).

2.2.2.2.10 Abordagem de Cilliers

Cilliers (2000) não apresenta uma definição para os sistemas complexos, apenas destaca que, para reconhecê-los, é necessário observar se possuem as seguintes características:

- sistemas complexos consistem de um grande número de elementos que, individualmente, podem ser simples;
- os elementos interagem dinamicamente por trocarem energia e informações. Há riqueza nas interações (até quando elementos específicos interagem, apenas, com outros poucos elementos, os efeitos dessas interações são propagados pelo sistema). As interações são não-lineares.
- existem muitos *loops de feedback* diretos e indiretos;
- sistemas complexos são sistemas abertos. Eles trocam energia e informações com o ambiente e operam em condições longe do equilíbrio.
- sistemas complexos têm memória, que não está localizada em um ponto determinado, mas distribuída pelo sistema. Alguns sistemas complexos possuem história, a qual é de fundamental importância no comportamento do sistema;
- o comportamento do sistema é determinado pela natureza das interações e não pelo conteúdo interno dos componentes. A noção de emergência é usada para descrever que o comportamento do todo não pode ser previsto pela inspeção de seus componentes;
- sistemas complexos são adaptativos. Eles podem organizar a própria estrutura interna, sem a intervenção de agentes externos.

2.2.2.2.11 Abordagem de Gell-Mann

Existe uma categoria especial de sistemas complexos, a qual foi criada especialmente para acomodar os sistemas vivos: são os **Sistemas Complexos Adaptativos**. Como o próprio nome diz, eles são capazes de mudar para se adaptar às mudanças do ambiente. Eles podem, também, modificar o ambiente para se adaptar a ele.

Na visão de Baranger (199-?), entre os sistemas complexos adaptativos existe uma categoria limitada de sistemas auto-reprodutivos: eles nascem, crescem e morrem. São pouco conhecidos, pois se sabe muito sobre Biologia, mas muito pouco sobre outras formas de vida. Gell-Mann (1996) define os sistemas complexos adaptativos como aqueles que aprendem ou evoluem da maneira que os sistemas vivos o fazem. São compostos de agentes que se adaptam, mudando as próprias regras internas a partir de experiências acumuladas. O objetivo é avaliar e influenciar simultaneamente a maneira de se comportar dos agentes (HOLLAND, 1995; STACEY, 1996; AXELROD e COHEN, 2000). Para Wu (2002), um sistema complexo adaptativo é um sistema composto de conjuntos heterogêneos de tipos, nos quais a estrutura e o funcionamento emergem do equilíbrio entre a constante produção de diversidade, devido a várias forças, e a redução da diversidade por meio de um processo de seleção, mediado pelas interações locais. Gell-Mann observa que uma característica comum a todos os sistemas complexos adaptativos, embora possam ser muito diferentes em suas propriedades físicas, é que eles adquirem informações sobre o ambiente e a própria interação com o ambiente, identificando regularidades nas informações captadas, condensando-as num *esquema* e agindo no mundo real a partir desse *esquema*. Em cada situação, no entanto, há vários esquemas competindo, e os resultados da ação sobre o mundo real retro-alimentam o esquema e influenciam a competição entre eles.

Esses sistemas apresentam uma tendência geral para gerar outros sistemas análogos. Isto acontece pela evolução em escalas diferentes, pelo aprendizado e pela interconexão dos fenômenos. Como exemplo, Gell-Mann (1996) cita a seqüência de evoluções ocorridas a partir da evolução química pré-biótica, a qual conduziu a evolução biológica, que, por sua vez, possibilitou o surgimento do sistema imunológico dos mamíferos associado ao aprendizado individual. A partir destes, à evolução cultural humana e à evolução cultural em outras espécies e, daí, à evolução das sociedades e organizações.

Identificam-se as seguintes características dos sistemas complexos adaptativos (GELL-MANN, 1996; ANDERSON, 1999; HEYLIGHEN, 1988):

- os sistemas desenvolvem um *esquema* que norteia seu comportamento. O sistema possui uma organização interna que é ajustada pelas perturbações externas ou pressões seletivas, pela aprendizagem e pela experiência. Os esquemas podem captar os padrões, separando o que é aleatório das regularidades. Nos humanos, os padrões de reconhecimento surgem naturalmente, pela transmissão hereditária recebida do processo de evolução biológica e,

também, por meio da transmissão da cultura passada de geração a geração (GELLMANN,1996).

- os sistemas se auto-organizam. A estrutura do sistema complexo é formada por componentes diferentes e conectados. A combinação dessa estrutura e da emergência, que se dá pela interação das partes, originando comportamentos novos, leva à auto-organização. A auto-organização ocorre quando um comportamento emergente produz uma mudança na estrutura. Turchin (1977) argumenta que os sistemas co-evoluem entre a ordem e a desordem. Esses sistemas se adaptam ao próprio ambiente pelo esforço para aumentar sua aptidão todo o tempo. Cada recompensa individual funciona dependendo das escolhas que outros indivíduos fazem. Por isso, cada sistema possui um cenário adaptativo, que é constantemente mudado. O cenário adaptativo é construído pelo mapeamento do comportamento do sistema em relação aos resultados conseguidos. O equilíbrio que resulta de tal co-evolução é dinâmico, pois pequenas mudanças no comportamento de um sistema, em determinado período de tempo, podem gerar grandes mudanças nos resultados no próximo período de tempo.
- recombinação, mutação e evolução do sistema. Os sistemas adaptativos complexos evoluem ao longo do tempo por meio de entradas, saídas e transformações. Esses sistemas são formados de componentes distintos, os quais sofrem variação. Desde que a variação não seja absoluta, o sistema permanecerá com uma parcela de estabilidade (HEYLIGHEN,1988). Em outras palavras, as mudanças não ocorrem todas ao mesmo tempo; existe alguma forma de inércia ou continuidade que limita a mudança. Tanto a organização interna do sistema, como as conexões entre os sistemas podem mudar. No primeiro caso, ocorre pelo processo de mutação, no qual muda um ou mais elementos dentro do sistema. No segundo, dá-se pelo processo de recombinação, no qual novas conexões são feitas pelo sistema. Essas novas conexões podem evoluir ao longo do tempo, mudando o padrão de interconexões, a intensidade de cada conexão e suas formas de funcionamento (HEYLIGHEN,1988).

Nesta seção, apresentaram-se algumas abordagens referentes aos conceitos e características dos sistemas complexos. Analisando-as, pode-se notar que os autores apresentam características comuns e outras exclusivas de cada abordagem. Mas, de modo geral, existe concordância do que significa um sistema complexo e como ele é caracterizado.

2.2.2.2.12 *Sumário das abordagens de sistemas complexos*

Nesta seção sumarizam-se as abordagens apresentadas sobre os sistemas complexos na visão dos diversos autores pesquisados. O Quadro 4, ilustra estas abordagens.

Observando o Quadro 4, nota-se que, apesar, de os conceitos divergirem nas palavras e termos, na essência todos citam: interação, conexão, partes, todo e sistema. As características apresentadas em cada abordagem ressaltam aspectos diferentes. Casti (1994) e Cilliers (2000) estabelecem a adaptabilidade, como característica dos sistemas complexos, a qual não é mencionada pelos demais autores, exceto pelo caso especial introduzido por Gell-Mann. Perrow (1984) destaca a proximidade física dos componentes, que não é descrita pelos demais autores. Morin (1977) considera como um importante aspecto a organização do sistema, desconsiderada pelas demais abordagens. Wu (2002) discorre sobre a importância de se conhecer as interações nos diferentes níveis em que elas ocorrem, a partir das quais se observa as propriedades emergentes em cada nível. Baranger (199-?) destaca que a estrutura dos sistemas complexos é composta de várias escalas e que evoluem entre o caos e o não-caos, competição e cooperação, aspectos que não foram citados pelos outros autores. Cilliers (2000) menciona a memória do sistema, como aspecto fundamental na construção de sua história, ponto novo em relação às abordagens apresentadas. Destacam-se, ainda, Wu (1999), Iarozinski (2001), Baranger (199-?) e Cilliers (2000) que estabelecem como característica dos sistemas complexos possuírem muitos componentes. Assume-se, neste trabalho, que os sistemas complexos possuem dois ou mais elementos diferentes que interagem entre si e com o ambiente e não necessariamente muitos elementos em interação.

Percebe-se que essas diferenças revelam os interesses de cada autor, a área em que atua e o grau de conhecimento que possui sobre os sistemas complexos. No geral, são considerados complexos os sistemas que possuem comportamentos imprevisível, incerto, emergente e uma estrutura composta de dois ou mais componentes diferentes que interagem entre si e com o ambiente.

A partir da constatação da co-existência de tipos diferentes de sistemas e do reconhecimento de que os sistemas complexos possuem características peculiares que os diferenciam dos sistemas complicados, percebeu-se a inadequação da aplicação da abordagem reducionista aos sistemas complexos. Assim, iniciou-se um processo de formulação de várias teorias que se adequassem às características desses sistemas. Desse modo, surgiu o termo “Ciências da Complexidade”, que é discutido na seção 2.3.

Abordagens de Sistemas Complexos			
Autores	Palavras-chave	Conceito	Características
Heylighen (1988)	(1) partes diferentes; (2) conexão; (3) comportamento; (4) evolução.	Possuem duas ou mais partes diferentes e conectadas. Comportamento imprevisito e evolução difícil de ser gerenciada.	(1) Quantidade. (2) Imprevisibilidade. (3) Dificuldade.
Bar-Yam (1997)	(1) parte – todo. (2) relação; (3) comportamento; (4) dificuldade.	As partes agem em conjunto para formar o comportamento do sistema como um todo. A dependência parte-todo gera dificuldade para compreender o sistema.	(1) Complexidade. (2) Emergência.
Casti (1994)	(1) simples; (2) complexo.	Sistema complexo contrário de sistema simples.	(1) Instabilidade. (2) Irredutibilidade. (3) Adaptabilidade. (4) Emergência.
Morin (1997)	(1) parte-todo; (2) estabilidade; (3) sistema de sistema;	Sistema complexo interage, organiza-se, estabiliza-se, dando origem a novas qualidades no sistema.	(1) Inter-relação. (2) Organização. (3) Emergência.
Gino (2002)	(1) parte-todo; (2) interações; (3) difícil controle.	Rede de muitas interações e elementos inter-relacionados, cada um representando suas próprias funções.	(1) Interdependência. (2) Vários estados que podem assumir o sistema. (3) Incerteza. (4) Irreversibilidade.
Perrow (1984)	(1) linear; (2) interação.	Sistema formado por muitas interações. Difícil de prever o efeito de uma interação em outra e no todo.	(1) Proximidade dos componentes. (2) Tipos diferentes de conexão. (3) <i>Loops</i> de feedback. (3) Imprevisibilidade.
Wu (1999)	(1) emergência; (2) auto-organização; (3) Imprevisibilidade; (4) interação multi-escala.	Possuem muitos componentes com interações complexas e dificuldade de intervenção.	(1) Termodinamicamente abertos. (2) Formado de muitos componentes diferentes. (3) Interação não-linear. (4) Heterogeneidade no espaço e no tempo.
Iarozinski (2001)	Observador	Diretamente ligado à percepção do observador.	(1) Muitos componentes, comportamentos variados e funções específicas. (2) Influenciados por eventos em permanente evolução. (3) Incerteza. (4) Inter-relações.
Baranger (199-?)	(1) escala; (2) não-linearidade; (3) emergência; (4) evolução.	Definição de sistema complexo ainda confusa e diferindo de autor para autor.	(1) Muitos constituintes interagindo não-linearmente. (2) Interdependência entre constituintes. (3) Estrutura constituída de várias escalas. (4) Comportamento emergente. (5) Evoluem entre caos e não- caos e entre competição e cooperação.
Cilliers (2000)	(1) interação; (2) não- linearidade; (3) memória; (3) história; (4) informação; (5) energia.	Não apresenta.	(1) Grande número de componentes. (2) Elementos interagem dinamicamente. (3) <i>Loops</i> de feedback diretos e indiretos. (4) São abertos. (5) Possui memória. (6) Emergência. (7) Adaptação.
Gell-Mann (1996)	(1) tipo especial de sistema complexo; (2) sistema complexo adaptativo.	Aprendem e evoluem do modo como os seres vivos o fazem.	(1) Possuem esquemas que norteiam seu comportamento. (2) Se auto-organizam. (3) Co-evoluem entre a ordem e a desordem. (4) Os sistemas se recombina, sofrem mutação e evoluem.

Quadro 4: Abordagens de sistemas complexos por diversos autor

2.3 CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE

A noção de complexidade, sistema e sistema complexo instigou cientistas de diversas áreas a desemaranhar os problemas da complexidade. Primeiro, por meio da identificação do que caracteriza a complexidade existente nos sistemas. Depois, desenvolvendo teorias adequadas a determinados grupos de sistemas complexos.

Foster, Kay e Roe (2001) observam que essas constatações, descobertas e mudanças coincidiram com a emergência do movimento pós-modernista do final do século XIX. Esse movimento envolvia os campos literários e o criticismo social, os quais defendiam que não poderia haver uma visão única para tratar todos os fenômenos sem questioná-los. Por outro lado, o secularismo ocidental se fundamentava nos preceitos reducionistas propagados por Newton, crescendo com proeminência durante a última metade do século XIX e recebendo muitas críticas do movimento pós-moderno. Tais críticas, associadas ao impacto das descobertas científicas, levaram ao desenvolvimento das chamadas *Novas Ciências*. Os autores citam outras denominações existentes para o termo, como: a Ciência da Complexidade, a Ciência Pós-normal e a Ciência dos Sistemas.

As Ciências da Complexidade possuem, em comum, o desejo de compreender a complexidade contida nos sistemas, sejam estes pertencentes a qualquer campo científico. Os preceitos epistemológicos¹ e ontológicos² das Ciências da Complexidade são apresentados por Foster, Kay e Roe (2001), os quais seguem os preceitos dos sistemas complexos, objeto de investigação deles.

- a) *Incerteza Irredutível*: o núcleo da idéia de sistema é a noção ontológica de que o estado do universo é incerto, preceito análogo ao princípio de incerteza de Heisenberg (1969). Na visão da ciência reducionista, a incerteza é uma questão superada da epistemologia. Já para as Ciências da Complexidade, é uma posição ontológica inabalável.
- b) *Barreira de racionalidade*: é uma variante da incerteza irredutível. A essência dos seus preceitos é a habilidade humana inerentemente limitada para compreender o universo. As barreiras também se estendem às ferramentas criadas para auxiliar o entendimento humano.

¹Conjunto de conhecimentos que tem por objetivo o conhecimento científico, visando explicar seus condicionamentos, sintetizar as suas relações, esclarecer seus vínculos e avaliar seus resultados e aplicações.

² Parte da filosofia que trata do SER como SER; da concepção da natureza comum a todos e a cada um dos seres.

- c) *Emergência*: se o sistema é suficientemente complexo, demonstrará comportamentos que não podem ser previstos pela observação do comportamento de seus componentes isolados.
- d) *Relativismo e percepção*: diferentes observadores percebem uma situação de modo diferente. Além disso, um observador pode ocupar, num determinado momento do tempo, uma posição privilegiada na qual a percepção dele seja mais válida que a de outro observador no mesmo momento do tempo. Quando esse preceito é associado aos preceitos da incerteza irreduzível e da barreira de racionalidade, pode-se concluir que cada observador possui uma visão diferente e imperfeita de alguma porção do universo.
- e) *Complexidade Irreduzível*: posição epistemológica em que os estados, os sistemas, os problemas não podem ser simplificados sem perder sua natureza essencial. Essa é uma abordagem comum, na prática da ciência reducionista, mas inconcebível nas Ciências da Complexidade.

A partir da consciência da existência dos sistemas complexos, das suas características e dos pressupostos das Ciências da Complexidade, é importante notar que surgiram abordagens com o objetivo de separar os problemas que poderiam continuar sendo tratados pela abordagem reducionista e os que deveriam ser tratados pelas Ciências da Complexidade. A esse respeito, Foster, Kay e Roe (2001) destacam que em muitos problemas, a abordagem reducionista pode ser empregada com sucesso. Na seqüência, apresentam-se as principais abordagens que investigam a aplicabilidade das Ciências da Complexidade.

2.3.1 PRINCIPAIS ABORDAGENS QUE INVESTIGAM A APLICABILIDADE DAS CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE

O objetivo desta seção é destacar algumas abordagens que buscam demonstrar as vantagens do emprego das Ciências da Complexidade em determinados tipos de sistemas.

2.3.1.1 Abordagem de Weaver

Weaver (1948) identifica três escalas da complexidade em relação às propriedades e estrutura do sistema: *simplicidade organizada*, *complexidade desorganizada* e *complexidade organizada*. Ele propõe, para cada escala de complexidade, a existência de técnicas de

investigação apropriadas. Na *simplicidade organizada*, os sistemas se caracterizam pela pequena quantidade de componentes significativos com interações determinísticas, podendo ser tratados eficientemente pela Matemática Analítica, ferramenta da abordagem reducionista. Wu (1999) argumenta que um sistema envolvendo muitos fatores pode sempre parecer complexo, à primeira vista, mas não é complexo se apenas um limitado número de componentes é significativo no contexto da questão na qual está sendo discutida. A *Complexidade desorganizada* ocorre quando um sistema tem um grande número de componentes significativos, os quais, contudo, exibem um alto grau de comportamento aleatório. Esta escala da complexidade pode ser tratada eficientemente pelos métodos estatísticos. Na *complexidade organizada*, os sistemas envolvem muitos componentes, mas somente um limitado número deles é significativo ao objetivo do sistema. Para analisá-los, a abordagem reducionista e os métodos estatísticos são inadequados: no primeiro caso, por possuírem mais componentes do que a abordagem reducionista pode analisar; no segundo, por possuírem poucos componentes para alimentar os métodos estatísticos e, ainda, comportamento não-aleatório, impossibilitando o uso de métodos estatísticos tradicionais. Esta escala da complexidade é adequadamente tratada pelas Ciências da Complexidade. A complexidade organizada é caracterizada pelos seguintes aspectos: não-linearidade, composto de número médio de componentes, relacionamentos e conectividade.

A *não linearidade* evidencia-se pela sensível dependência das condições iniciais e pelas múltiplas regiões de estabilidade. Os sistemas são complexos, em parte, por causa do seu comportamento, que é dependente não somente do seu estado atual, mas também da trajetória tomada pelo sistema ao longo do tempo. Assim, conhecendo apenas o estado atual do sistema, não é possível prever os próximos estados.

O sistema possui *médio número* de componentes significativos os quais interagem de modo não-determinístico. A caracterização de médio número de componentes não leva em consideração a natureza dos *relacionamentos* entre esses componentes. O tipo de arranjo formado entre os relacionamentos é tão importante quanto a quantidade de relacionamentos existentes no sistema, pois o tipo de arranjo formado colabora para a definição de suas fronteiras e de sua identidade.

2.3.1.2 Abordagem de Weinberg

Segundo Wu (1999), muitos anos depois, surgiu a abordagem de Weinberg (1975) sobre como tratar a complexidade existente nos sistemas, a qual se assemelha à apresentada por Weaver (1948). Weinberg mostra uma classificação para os sistemas baseada no número de componentes que possuem. Assim, classifica-os em sistemas com pequeno número, médio número e grande número de componentes, enfocando os mesmos aspectos destacados pela simplicidade organizada, complexidade desorganizada e complexidade organizada.

2.3.1.3 Abordagem de Saussure

O holismo é uma abordagem que se opõe ao reducionismo. A primeira visão moderna foi dada pelo *Estruturalismo*, escola científica de pensamento, estabelecida por Saussure no período de 1857 a 1913. O objeto principal do estruturalismo é que o todo não pode ser reduzido a suas partes. Na visão de Heylighen (1988), a abordagem se propõe a observar os fenômenos complexos como um todo, em vez de uma coleção de partes. Essa visão, contudo, negligencia uma característica essencial das entidades complexas, que é sua estrutura composta por diferentes partes, as quais são entrelaçadas. Para considerar o fenômeno como um todo, o holismo considera o fenômeno como um. Dessa forma, desconsiderando as inter-relações e as diferentes partes, o fenômeno passa a ser simples e não mais complexo. Morin (1977,p.157) afirma que o holismo, acreditando ultrapassar o reducionismo, operou uma redução ao todo, de onde vem não apenas sua “cegueira” sobre as partes enquanto partes, mas sua “miopia” sobre a organização enquanto organização, sua ignorância da complexidade no interior da unidade global.

2.3.1.4 Abordagem de Kauffman

Kauffman (1993), com o objetivo de apurar a complexidade existente nos sistemas, desenvolveu as bases dos sistemas NK no âmbito da biologia evolucionária. O N representa o número de partes que compõem os sistemas, e o K representa o número médio de conexões entre as partes dentro dos sistemas. Assim, os sistemas NK se concentram em três tipos de sistemas, dependendo do relacionamento entre N e K.

No *Tipo 1*, enquadram-se os sistemas nos quais o número de conexões é muito pequeno comparado ao número total das partes. Nesse caso, cada parte se comporta muito mais independente das outras, e as propriedades dos sistemas são a simples soma das propriedades de suas partes individuais. Esses sistemas tendem a ser estáticos ou alcançam simples equilíbrio dinâmico; algumas vezes são denominados subcríticos.

No *Tipo 2*, quando K aumenta, comparado a N , a dinâmica torna-se mais complexa, e as propriedades emergentes aparecem. Mudanças locais se propagam para partes distantes do sistema por causa da conectividade, mas não é usual causar mudanças globais se a proporção de N para K é ainda relativamente pequena. Esses sistemas são denominados caóticos ou críticos.

No *Tipo 3*, quando K se aproxima de N , muitos componentes do sistema são conectados a quase todos os componentes. Isto cria um determinismo instável. Tais sistemas são descritos como supercríticos, pela teoria do caos.

Os sistemas do tipo 1 podem ser eficientemente tratados pela abordagem reducionista. Os sistemas do tipo 2 e do tipo 3 são tratados pelas Ciências da Complexidade.

2.3.1.5 Abordagem de Gell-Mann

Gell-Mann (1996) trata com um tipo especial de sistema complexo, os adaptativos. Apesar disso, preocupa-se em compreender como os sistemas se adaptam e, com esse objetivo, identifica alguns tipos de sistemas: sistemas com adaptação direta, sistemas especialistas, sistemas não-adaptativos, sistemas mal-adaptativos e sistemas complexos adaptativos.

Nos sistemas com *adaptação direta*, não há compreensão da informação, não existem esquemas competindo, não há variação ao acaso, não há seleção, nem evolução. Como exemplo, o autor apresenta o funcionamento de um termostato ajustado a uma temperatura pré-estabelecida. O termostato possui um único programa fixo e se ajusta a esse programa.

Os *sistemas especialistas* são característicos da cibernética. Eles consistem em transferir as informações de especialistas humanos, em determinado campo do conhecimento, para um computador na forma de um modelo interno fixo, o qual pode ser usado para interpretar os dados de entrada. Por exemplo, Gell-Mann cita o diagnóstico médico, que pode ser automatizado até certo ponto, sob orientação de médicos e pela construção de um esquema

de decisão para o computador, com regras definidas à tomada de decisão em alguns tipos padrões de informações dados pelos pacientes. Assim, o computador pode diagnosticar a doença, mas não aprende com a experiência dos diagnósticos com pacientes sucessivos e, por isso, continuam utilizando o mesmo esquema interno desenvolvido pelos especialistas; no caso, os médicos. Em outras palavras, os esquemas não estão sujeitos ao processo de variação e seleção.

Os sistemas *não-adaptativos* são os que dependem, apenas, das leis que governam o comportamento dos componentes que o constituem e das condições iniciais no seu processo de expansão. O comportamento desses sistemas não exige a produção de qualquer esquema para se manter. Exemplos: as galáxias, as estrelas, os planetas, as rochas. Os *sistemas mal-adaptativos* correspondem àqueles que possuem esquemas para guiar o próprio comportamento. Esses esquemas podem ser mudados, existem competição, promoção ou remoção entre os vários esquemas, dependendo da ação das pressões seletivas no mundo real. Porém não apresentam regularidade nessas tarefas; os padrões de comportamento podem levar milhões de anos para serem alterados. Exemplo: as colônias de formigas.

Os sistemas complexos *adaptativos* são os que produzem esquemas regulares que norteiam seu comportamento; eles aprendem, evoluem e podem mudar esse esquema de acordo com as pressões seletivas. Exemplos: a evolução biológica e as sociedades humanas (ver seção 2.2.2.2.11).

2.3.1.6 Sumário das Abordagens

As cinco abordagens apresentadas demonstram o propósito dos autores em distinguir os sistemas que podem ser adequadamente tratados pela abordagem reducionista e os que precisam ser apropriadamente tratados pelas Ciências da Complexidade. O Quadro 5 sumariza essas abordagens.

Observando-se o Quadro 5, nota-se que as abordagens apresentadas possuem pontos comuns. A abordagem de Weaver (1948) separa a complexidade dos sistemas em função da quantidade de componentes significativos e do tipo de interação (determinística, aleatória e complexa) existente, à qual corresponde à abordagem de Weinberg (1975). A abordagem de Saussure ressalta a mudança do reducionismo ao holismo. Essa mudança não representou uma mudança de método intelectual, apenas uma mudança de percepção das partes isoladas para a

percepção do todo, visto como um. Nesse sentido, o sistema continua sendo reduzido. A abordagem de Kauffman (1993) mostra que a passagem dos sistemas simples aos complexos ocorre pela compreensão das propriedades emergentes. A abordagem de Gell-Mann (1996) apresenta uma preocupação diferente dos demais autores. Ele se concentra em analisar como os sistemas se adaptam e, a partir do tipo de adaptação, indicar que tipo de tratamento é mais adequado.

Nessa perspectiva, Simon (1969) identificou três rupturas de interesse da complexidade e dos sistemas complexos no século XX. A primeira delas iniciou-se após da I Guerra Mundial, representada pelos termos “holismo”, “gestalt”³ e “evolução criativa”, os quais traziam um forte apelo anti-reducionista. A segunda ruptura teve início com a II Guerra Mundial e foi caracterizada pelos termos: “sistema geral”, “informação”, “cibernética” e “*feedback*”, os quais focalizavam fundamentalmente o papel do *feedback* e da *homeostase* na manutenção da estabilidade do sistema. A terceira coincide com o período contemporâneo das pesquisas em complexidade. Estas se concentram, principalmente, nos mecanismos que criam e sustentam a complexidade e em métodos que possam eficientemente descrever e analisar a complexidade.

Como resultado, visões alternativas da complexidade emergiram, as quais podem ser identificadas pelos termos: caos, fractais, algoritmos genéticos e autômato celular. Essas visões enfatizam diferentes aspectos da complexidade e podem ser percebidas, ao mesmo tempo, como alternativas e complementares.

³ Gestalt é uma linha da psicologia que reconhece a existência de totalidades irreduzíveis como aspecto-chave da percepção. Para os adeptos dessa linha psicológica os organismos vivos percebem as coisas não em termos de elementos isolados, mas como padrões perceptuais integrados (CAPRA, 1996, p.42).

Abordagens.....			
Autores	Classificação	Características	Tratamento
Weaver (1948)	Simplicidade organizada	Pequena quantidade de componentes significativos e interações determinísticas.	Métodos reducionistas
	Complexidade desorganizada	Grande quantidade de componentes significativos que exibem alto grau de comportamento aleatório.	Métodos estatísticos
	Complexidade organizada	Não-linearidade; Quantidade média de componentes significativos; Relacionamentos e conectividade.	Ciências da Complexidade
Weinberg (1975)	Pequeno número de componentes	Pequena quantidade de componentes significativos e interações determinísticas.	Métodos reducionistas
	Médio número de componentes	Grande quantidade de componentes significativos que exibem alto grau de comportamento aleatório.	Métodos estatísticos
	Grande número de componentes	Não-linearidade; Quantidade média de componentes significativos; Relacionamentos e conectividade.	Ciências da Complexidade
Saussure (1857-1913)	Holismo	Ver os sistemas como um todo, ao invés de uma coleção de partes, considera o todo como um e, por isso, desconsidera as diferentes partes.	Métodos reducionistas
Kauffman (1993)	Tipo 1	Número de conexões muito pequeno em comparação à quantidade de partes do sistema.	Métodos reducionistas
	Tipo 2	Surgimento de propriedades emergentes.	Ciências da Complexidade
	Tipo 3	Conexões dos componentes do sistema em proporções muito grandes em relação ao número de partes.	Ciências da Complexidade
Gell-Mann (1996)	Sistemas com adaptação direta	O sistema possui um esquema interno fixo e pré-estabelecido; não há mudança.	Métodos reducionistas
	Sistemas especialistas	O sistema possui um esquema interno fixo, e a mudança só ocorre se alimentado por um sistema humano.	Métodos reducionistas
	Sistemas não-adaptativos	O sistema não produz esquemas, dependem, apenas, das leis que governam seus componentes e das condições iniciais para se expandir.	Métodos reducionistas
	Sistemas mal-adaptativos	O sistema produz esquemas que podem ser mudados, mas não capta informação com regularidade.	Ciências da Complexidade
	Sistemas adaptativos	O sistema possui esquema que norteia seu comportamento e capta informações do ambiente, aprende e evolui.	Ciências da Complexidade

Quadro 5: Abordagens que separam os sistemas que podem ser tratados pelas ciências reducionistas e pelas ciências da complexidade.

A partir do entendimento de que as Ciências da Complexidade podem intervir com eficiência nos sistemas complexos, apresentam-se, na próxima seção, os principais ramos em que essas ciências se segmentaram com o objetivo de compreender os sistemas complexos.

2.3.2 PRINCIPAIS RAMOS DAS CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE

As Ciências da Complexidade se dividiram em muitos ramos, os quais tiveram seu desenvolvimento associado, na maioria, a um campo específico da ciência e a objetivos diferenciados. Podem-se destacar: a Cibernética, a Teoria Geral de Sistemas, os Sistemas Dinâmicos, a Teoria do Caos e a Teoria da Complexidade. Todos esses ramos têm como objetivo comum compreender a complexidade existente nos sistemas.

2.3.2.1 Cibernética

A Cibernética é um campo interdisciplinar surgido, oficialmente, em 1946, em New York, de um grupo de oito cientistas originários de três campos diferentes; da *Matemática*, Norbert Wiener, Jonh Von Neumann, Walter Pitts; da *Engenharia*, Julian Bigelow e Claude Shannon; da *Neurobiologia*, Rafael Lorente de No, Arturo Rosenbluenth e Warren McCulloch (ABRAHAM, 2002).

Segundo Abraham (2002), a Cibernética surgiu de uma série de encontros realizados pelas *Macy Foundation*, de 1946 a 1953, nas quais, aos ciberneticistas, se juntou um grupo de cientistas sociais levado pelos antropólogos Gregory Bateson e Margaret Mead, incluindo um representante da Psicologia Social da Gestalt, Kurt Lewin. Alguns dos assuntos tratados pelo grupo foram: redes de *feedback*, inteligência artificial, comunicação. O objetivo deles era criar uma ciência exata da mente. Embora usassem uma abordagem reducionista, concentravam-se em padrões comuns aos animais e às máquinas, o que envolvia muitas idéias novas e exerciam bastante influência nas concepções sistêmicas subseqüentes aos fenômenos mentais.

Wiener (1948) foi o cientista que mais se destacou no desenvolvimento da Cibernética. Ele a definiu como ciência do controle e da comunicação no animal e na máquina, introduzindo os conceitos de retroalimentação (*feedback*) e causalidade circular.

2.3.2.2 Teoria Geral de Sistemas

A Teoria Geral de Sistemas foi oficialmente estabelecida por Ludwig von Bertalanffy, que, em 1920, em Viena, iniciou estudos em Biologia e, em 1956, criou a Sociedade para o Estudo do Sistema Geral em Standford, EUA. Le Moigne (1977) e Capra (1996) destacam que a primeira obra sobre sistemas foi escrita por volta de 1913 pelo russo Bogdanov, que foi pouco reconhecido no meio científico, não havendo indícios do conhecimento da obra dele pelo próprio Bertalanffy. Abraham (2002) observa que a Teoria Geral de Sistemas pode ser considerada o contraponto europeu do movimento cibernético americano.

Bertalanffy (1968) começou sua carreira participando do Círculo de Viena, grupo composto por filósofos da linha lógica positivista, à qual ele se opunha. Davidson (1983) argumenta que a primeira obra de Bertalanffy foi sobre teoria biológica, em 1928. Em 1950, Bertalanffy imigrou para a América do Norte. Sua idéia principal era a de substituir os fundamentos reducionistas da ciência pela visão holística, o que, posteriormente, se sedimentou na Teoria Geral de Sistemas, cuja visão considera que todos os sistemas são similares, seja físico, biológico ou social. As principais idéias da Teoria Geral de Sistemas são holismo, organicismo e sistemas abertos e sua auto-sustentabilidade. A percepção de sistema aberto é inspirada nos sistemas biológicos, sendo generalizada para os sistemas sociais e para a história da cultura humana. Bertalanffy criou, juntamente com Kenneth Bouding, Ralph Gerard e Antol Rapoport, a Sociedade para a Pesquisa do Sistema Geral, em 1956, cujo objetivo visa desenvolver uma teoria que crie princípios gerais que possam ser aplicados à Biologia, à Psicologia, à Sociologia e a outras disciplinas para explorar a auto-sustentabilidade dos sistemas abertos (BERTALANFFY, 1968; ABRAHAM, 2002).

2.3.2.3 Os Sistemas Dinâmicos

A Teoria dos Sistemas Dinâmicos é um ramo da Matemática criado por Isaac Newton, atualizado por Poincaré em 1880. Abraham (2002) observa que os sistemas dinâmicos, no seu aspecto puro, tornaram-se conhecidos como Teoria do Caos, após 1975, devido ao impacto da revolução dos computadores e à descoberta dos atratores caóticos. A teoria das catástrofes e a geometria fractal são relacionadas aos sistemas dinâmicos.

A aplicação dos pressupostos da Teoria dos Sistemas Dinâmicos engloba a Matemática, a Biologia, a Medicina e as Ciências Sociais. Desde o surgimento dos computadores analógico e digital, no século XX, sua aplicação se expandiu e ganhou importância. Essa difusão deve-se, principalmente, aos trabalhos de Jay Forrester (1961) e seu grupo no M.I.T. (Instituto de Tecnologia de Massachusetts).

Uma das linhas da Teoria dos Sistemas Dinâmicos de aplicação computacional é o sistema dinâmico, crucial para a evolução das Ciências da Complexidade. Abraham (2002) destaca que o estudo dos sistemas dinâmicos foi uma importante etapa para a evolução das máquinas analógicas para as máquinas digitais, bem como sua interface com a Cibernética. Como resultado, desenvolveram-se máquinas de grande porte, tais quais as usadas para análise diferencial, capazes de integrar sistemas dinâmicos de grande escala.

Para Devaney (1992), um sistema dinâmico é um sistema que muda ao longo do tempo. Warren, Franklin e Streeter (1998) observam que a definição de Davaney é ampla e abrange desde sistemas estáticos até sistemas humanos e sociais. Assim, o termo “dinâmico” se refere ao estudo do sistema no processo de mudança. O sistema dinâmico, contudo, pode mudar de forma linear ou não-linear. A mudança linear é uma mudança em linha reta e inclui simples relacionamentos de causa e efeito, nos quais uma mudança em A causa uma proporcional mudança em B. As mudanças não-lineares não seguem uma linha reta, pois possuem *feedback* e liberdade de ação. Nesse processo de mudança, pode haver bifurcações. Uma bifurcação é caracterizada pela mudança de atrator ou da bacia de atração de um sistema dinâmico e pela perda de estabilidade do sistema. As bifurcações podem ser de três tipos: suave, explosiva ou catastrófica. Os atratores são responsáveis pelo equilíbrio do sistema dinâmico. Eles são representados por pontos próximos que podem assumir formas diferentes e formar um conjunto de pontos iniciais que tendem ao mesmo atrator; nesse caso, formam uma bacia de atração. Foley (199-?) argumenta que o objetivo principal dos sistemas dinâmicos é representar o estado de um sistema (físico, biológico ou social) num dado período de tempo, como um vetor x , no espaço X , formando o estado do sistema. Os sistemas de interesse são aqueles que mudam no tempo. O autor considera a idéia de que a evolução do sistema é governada por determinadas leis que definem o processo dinâmico. Numa ampla classe de situações, o estado do sistema é resultado das informações disponíveis sobre as influências desse estado no próximo período de tempo.

2.3.2.4 Teoria do Caos

Na visão de Baranger (199-?), caos é um conceito puramente matemático. Ele é um inegável fato matemático, é uma descoberta de que os cálculos não possuem poder infinito. Pigliucci (2000) observa que o significado literal da palavra “caos” é sinônimo de aleatoriedade, completamente não-determinístico e fenômeno irregular. O termo carrega uma conotação negativa. Já na teoria matemática, caos se refere a fenômeno determinístico, caracterizado por propriedades especiais que dificultam a previsibilidade dos resultados. Baranger (199-?) observa que existem várias dimensões sob as quais é possível analisar um objeto físico do ponto de vista da teoria do caos. Contudo as dimensões espaço e tempo são as mais importantes. O caos pode ser analisado sob as dimensões do tempo e do espaço.

Um objeto caótico no espaço é denominado “fractal”. Existem muitas definições possíveis para a palavra fractal. Segundo Baranger (19??), a mais geral é a seguinte: um fractal é uma figura geométrica que não se transforma em simples quando analisada em sua menor parte, o que implica sua não-linearidade. Mas existem vários tipos de estruturas fractais, tanto artificiais quanto naturais: os fractais de uma dimensão, por exemplo a “poeira de Cantor”⁴ que se obtém pela divisão de uma linha reta em três partes, retirando-se a parte do meio e repetindo-se essa operação até o infinito. Os fractais de duas dimensões, como por exemplo a “curva de Koch”⁵ e o “tapete de Sierpinski”⁶. A “curva de Koch” que é obtida a partir da estrutura de um triângulo equilátero, tendo como objetivo encontrar o menor triângulo que parta do centro do triângulo original e toque os três lados dele, repetindo-se essa operação até o infinito. Os dois primeiros exemplos de fractais exibem uma propriedade denominada auto-similaridade (GLEICK, 1990; BARANGER, 199-?). Baranger (199-?) ressalta que os exemplos dados são elementares e que existem possibilidades infinitas de

⁴ Denominação dada em homenagem ao seu descobridor, o matemático Georg Cantor, que viveu no século XIX. A Teoria dos Conjuntos de Cantor foi desenvolvida considerando o intervalo entre 0 e 1, representado por um segmento de linha. O processo é o seguinte; elimina-se o terço médio da linha, resultando dois segmentos. Em seguida retira-se o terço médio de cada um deles e assim sucessivamente até o infinito, restando apenas uma poeira de pontos (GLEICK, 1990, p.88).

⁵ Denominação dada em homenagem a Helge Von Koch, matemático sueco que primeiro a descreveu. A curva de Koch é construída com base num triângulo com extensão lateral 1. No meio de cada lado acrescenta-se um novo triângulo com um terço do tamanho do original, repetindo-se essa operação até o infinito (GLEICK, 1990, p.94).

⁶ A partir da “curva de Koch” surgiram outras denominações para os fractais de duas dimensões, o “tapete de Sierpinski” foi uma delas. Para fazer um tapete, começa-se com um quadrado, divide-o três por três em nove quadrados iguais e retira-se o quadrado central, repete-se a operação nos oito quadrados restantes deixando um espaço quadrado no centro de cada um (GLEICK, 1990, p.95).

produzir fractais. O conjunto de fractais apresentados por Mandelbrot (1984) mostra infinitas possibilidades em termos de estruturas fractais, que nem sempre apresentam características auto-similares, ou seja, simetria através de escalas (GLEICK, 1990).

Por outro lado, existe o caos no tempo. Esta é a visão mais usual do caos e, também, de onde vem tal denominação. Um sistema cuja configuração é capaz de mudar com o tempo é denominado sistema dinâmico, que consiste em algumas *variáveis*, *algumas equações do movimento e algumas equações dinâmicas* (BARINGER,199-?). As *variáveis* são elementos múltiplos ou simples, contínuos ou discretos, que podem *variar* com o tempo. Elas devem ser escolhidas de tal modo que o conhecimento completo de todas as variáveis determine unicamente o estado do sistema em um determinado período de tempo. O conjunto de todos os possíveis valores das variáveis, bem como os valores de todos os possíveis estados do sistema, constituem o *espaço de fase*. O atual estado do sistema representa um ponto no espaço de fase. Como o tempo avança, esse ponto muda no espaço de fase. O emprego das *equações do movimento* é para determinar como o ponto se move. Dado o estado atual do sistema no espaço de fase, as equações do movimento traduzem como ele pode ser calculado no próximo instante de tempo. Como o tempo evolui, esse ponto descreve a *trajetória* ou a órbita no espaço de fase. Se o modo de calcular a trajetória é conhecido, então a equação do movimento é conhecida. Usualmente é determinado o estado do sistema em algum tempo inicial. Isto é denominado *condições iniciais*, a partir das quais se calcula a trajetória. Lorenz (1993) foi o descobridor da sensibilidade às condições iniciais, conhecida popularmente como *efeito borboleta*. Ele constatou, a partir de um conjunto de três equações simples para determinar as condições meteorológicas, que o caos é análogo à situação em que o bater das asas de uma borboleta, no Brasil, hoje, pode iniciar uma cascata de eventos que resulte em um tornado, na Inglaterra, um mês depois, por exemplo. Isto significa que pequenas perturbações, num sistema, podem causar uma série de efeitos que eventualmente levem a conseqüências macroscópicas depois de determinado tempo.

A trajetória, no espaço de fase, é atraída por certos pontos chamados atratores. Gleick (1990,p.140); Capra (1996,p.114); Prigogine e Stengers (1997,p.91) destacam que os atratores podem ser de três tipos: punctiformes, periódicos e estranhos. Os atratores punctiformes são representados por pontos fixos no centro do espaço de fase, o qual atrai a trajetória; correspondem aos sistemas que atingem um equilíbrio estável. Eles representam os sistemas simples, como o pêndulo. Os atratores periódicos são aqueles que possuem oscilações periódicas em linha reta e independente da situação inicial evoluem para um ciclo-limite. O

ciclo-limite permanece previsível, tais quais os sistemas simples, como o “relógio químico”⁷. Os atratores estranhos se caracterizam por gerarem padrões que nunca se repetem totalmente e pela extrema sensibilidade às condições iniciais, correspondendo a sistemas caóticos. Um exemplo de sistema caótico é o aquecimento da água, em ebulição ela forma turbulências que não podem ser reproduzidas, nem descritas integralmente.

A trajetória dos atratores caóticos não se repete, nem se cruza e tem forma de fractal. Os sistemas caóticos podem ser de dois tipos: determinísticos e não-determinísticos. Os primeiros emergem de algumas leis, muitas vezes simples, como os fractais de uma e duas dimensões, respectivamente: “poeira de Cantor” e “tapete de Sierpinski”; já os sistemas caóticos não-determinísticos são gerados por ruídos, pequenas perturbações e fenômenos aleatórios. A esse respeito, Baranger (199-?) evidencia que a não-linearidade produz fractais e caos pelo processo de dobrar e esticar. O autor exemplifica apresentando a analogia da transformação do padeiro.⁸ Para Baranger (199-?), a conexão entre o caos no tempo e no espaço é muito próxima. Isto porque, num sistema dinâmico caótico, se escolhe uma simples região no espaço de fase. Considera-se essa região como um local das possíveis condições iniciais, observando-se o fluxo de tempo. Como cada ponto segue sua trajetória, a região move-se e a forma muda. Assim, no curso de sua evolução, a região transformar-se-á num fractal, que se intensifica enquanto o tempo avança e torna-se completo no tempo infinito.

2.3.2.5 Teoria da Complexidade

Segundo Abraham (2002), a Teoria da Complexidade foi concebida a partir das conexões entre a teoria geral de sistemas, a cibernética e a teoria dos sistemas dinâmicos.

Entre 1956 e 1970, houve várias conexões entre esses três ramos das Ciências da Complexidade. As conexões ocorreram devido à necessidade de uma teoria utilizar conceitos de outra com o objetivo de evoluir mutuamente pela troca de informação.

⁷ O comportamento periódico adotado pelo sistema é estável. Ele assume esta condição a partir de um limiar crítico, no qual o sistema deixa espontaneamente, por ampliação de uma flutuação, o estado estacionário, como também a evolução do sistema a partir de qualquer situação inicial lhe faz recuperar o ciclo limite. O sistema permanece indefinidamente nesse ciclo limite, constituindo um verdadeiro relógio químico (PRIGOGINE e STENGERS, 1997).

⁸ Transformação do Padeiro é uma expressão usada para designar o fluxo de todos os mapeamentos que produzem fractais pelo processos de esticar e dobrar, realizadas repetidas vezes. Este processo é análogo aos processos realizados pelo padeiro na confecção de pães.

Para Abraham (2002), a Cibernética foi a primeira a prosperar; em seguida, veio à Teoria Geral de Sistemas e, após, os Sistemas Dinâmicos. As conexões entre as comunidades de suporte de cada ramo interdisciplinar rapidamente cresceram em número e extensão.

Pode-se dizer que a Teoria da Complexidade é um ramo das Ciências da Complexidade que se apropria, eficientemente, de conceitos referentes à Cibernética, à Teoria Geral de Sistemas e aos Sistemas Dinâmicos, com o objetivo de compreender a auto-organização dos sistemas complexos por meio de suas *propriedades emergentes e de suas interações*. As propriedades emergentes produzem novas propriedades emergentes que dão origem a novos níveis de organização; esses novos níveis de organização são derivados das interações dos componentes. Assim, a Teoria da Complexidade busca, também, compreender *como o sistema complexo evolui*.

Higgs (2001) destaca que a Teoria da Complexidade trata com as entidades ou com os componentes do sistema que interagem e mudam a si próprios de modo imprevisível. O autor argumenta que, dessa forma, existem dois níveis em que os sistemas podem ser analisados: as interações ou conectividades das entidades ou componentes e a variabilidade das próprias entidades. Pigliucci (2000), confirmando a percepção de Higgs, estabelece que, essencialmente, a Teoria da Complexidade tenta estudar sistemas que satisfaçam duas condições: (1) sejam constituídos de muitas partes em interação; (2) as interações resultem em propriedades emergentes, que não possam ser reduzidas imediatamente a simples soma das propriedades dos componentes individuais.

A emergência é exemplificada por Baranger (199-?) da seguinte forma: o corpo humano é capaz de caminhar. Esta é uma propriedade emergente. Contudo, estudando-se somente a cabeça, somente o tronco ou somente os membros de uma pessoa, não haverá a compreensão da capacidade de caminhar. A combinação da estrutura e da emergência leva à *auto-organização*, que ocorre quando um comportamento emergente produz mudança na estrutura existente ou cria uma nova estrutura. Nesse sentido, Warren, Frankin e Streeter (1998) observam que, enquanto a Teoria Geral de Sistemas intervém nos sistemas, considerando o holismo, a Teoria da Complexidade focaliza o modo pelo qual as interações locais dos componentes individuais levam a um sistema global. Preocupa-se, ainda, com as configurações assumidas pelas interações e o modo como agem para manter e aumentar a complexidade do sistema. Em outras palavras, a Teoria da Complexidade se interessa pela evolução dos sistemas complexos.

2.3.2.6. Sumário dos ramos das Ciências da Complexidade

Nesta seção, resumem-se os diferentes ramos que formam as Ciências da Complexidade, apresentando-se conceitos, características, objetivos e interfaces. O Quadro 6 mostra um resumo dessas teorias.

Observando-se o Quadro 6, nota-se que as teorias expostas possuem objetivos diferentes, apesar de perfazerem a estrutura de referência para o estudo da complexidade. Em comum, essas teorias apresentam a busca pela compreensão da complexidade existente nos sistemas, sejam estes naturais ou artificiais. A Cibernética, por exemplo, está mais interessada em desenvolver sistemas artificiais, tal qual o computador, que funcionem como ferramenta de interface entre as pessoas que os utilizam. A Teoria Geral de Sistemas se preocupa em estudar os sistemas abertos, tendo como base os seres vivos. Ela busca compreender o sistema como um todo, instituindo o holismo, e não mais como uma parte. Os Sistemas Dinâmicos surgem com o objetivo de estudar as mudanças ocorridas no sistema, considerando o tempo. Para tanto, usam como instrumento a Geometria Fractal, para auxiliar a compreensão das formas que surgem no processo de evolução do sistema, além de estudar os atratores. Os Sistemas Dinâmicos são objeto de investigação da Teoria do Caos. A Teoria da Complexidade se apropria de conceitos derivados dessas teorias, tais como: *feedback*, sistemas abertos, trajetória, atratores, fractal, etc. Desenvolve, também, uma abordagem para pesquisar as interações entre os componentes que formam o sistema, suas propriedades emergentes e a evolução do sistema, sendo, portanto, mais adequada à estrutura e ao comportamento exibido pelos sistemas complexos.

Da mesma forma, percebe-se, analisando o Quadro 6, que a Cibernética e a Teoria Geral de Sistemas estão mais relacionadas à ordem dos sistemas. A Teoria do Caos inclina-se mais a observar e atuar na desordem gerada pelo sistema. A Complexidade é percebida na dialógica entre ordem e desordem (MORIN,1977) ou à beira do caos (WALDROP,1992). Como apresentam muitos outros autores, a Teoria da Complexidade, por meio da análise das interações e das propriedades emergentes, propõe-se trabalhar especificamente na faixa entre a ordem e a desordem. A Teoria da Complexidade é, usualmente, abordada na literatura como sinônimo de Ciências da Complexidade, isso acontece em decorrência da maior abrangência que a Teoria da Complexidade assume em relação às outras teorias componentes das Ciências da Complexidade. Nesta tese emprega-se a denominação Ciências da Complexidade, em concordância com a maioria dos autores pesquisados

Principais teorias componentes das Ciências da Complexidade				
Teorias	Conceitos	Objetivos	Características	Interfaces
Cibernética (Wiener, 1948)	Ciência do controle e da comunicação no animal e na máquina.	Estudar a retroalimentação (<i>feedback</i>), causalidade circular para criar uma ciência exata da mente.	(1) Interdisciplinar: Matemática, Engenharia, Neurobiologia e Ciências Sociais. (2) Usa abordagem reducionista. (3) Estuda os padrões comuns entre os animais e as máquinas.	(1) Teoria Geral de Sistema. (2) Teoria dos Sistemas Dinâmicos.
Teoria Geral de Sistemas (Bertalanffy, 1956)	Cria princípios gerais que, aplicados a várias disciplinas, explorem a auto-sustentabilidade dos sistemas abertos.	Substituir os fundamentos reducionistas da ciência pela visão holística.	(1) Considera que todos os sistemas são similares: físicos, biológicos ou sociais. (2) Organicismo, holismo e sistemas abertos.	Cibernética.
Teoria dos Sistemas Dinâmicos Poincaré (1880)	Estuda as mudanças de um sistema ao longo do tempo.	Representar o estado de um sistema no tempo.	(1) Ramo da Matemática criada por Newton e atualizada por Poincaré em 1880. Em 1975, é reconhecida como Teoria do Caos. (2) Mudança de modo linear ou não-linear. (3) É movido por atratores e bacias de atração. (4) Apresentam bifurcações.	(1) Teoria das Catástrofes. (2) Geometria Fractal. (3) Teoria do Caos. (4) Cibernética.
Teoria do Caos (Forrester, 1961)	Estuda as mudanças de um sistema ao longo do tempo.	Representar o estado de um sistema no tempo	(1) Dimensão do tempo e dimensão do espaço. (2) Possui estrutura fractal. (3) Possui espaço de fase. (4) Possui trajetória. (5) O estudo da trajetória do sistema parte de condições iniciais. (6) Trajetória guiada por atratores.	(1) Teoria das Catástrofes. (2) Geometria Fractal. (3) Sistemas Dinâmicos. (4) Cibernética.
Teoria da Complexidade	Apropria-se de conceitos de outras teorias para se estabelecer e analisar os sistemas, observando as propriedades emergentes e suas interações.	Compreender como o sistema complexo evolui e estudar a auto-organização.	(1) Foi concebida a partir das conexões entre a Cibernética, da Teoria Geral de Sistemas e os Sistemas Dinâmicos. (2) Estuda sistemas formados por componentes diferentes e em contínua conexão. (3) Interações locais levam a um sistema global.	(1) Cibernética. (2) Teoria Geral de Sistemas. (3) Teoria dos Sistemas Dinâmicos. (4) Geometria Fractal. (5) Teoria do Caos.

Quadro 6: Principais teorias que compõe as Ciências da Complexidade.

Portanto, para compreender as interações, as propriedades emergentes e a auto-organização (objeto da Teoria da Complexidade), inicia-se uma investigação no sentido de descrever os caminhos tomados pelos sistemas complexos para alcançar níveis mais altos de evolução em complexidade. Na seqüência, a próxima seção apresenta a descrição dos caminhos tomados para a evolução de um sistema complexo.

2.4 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS COMPLEXOS

É consenso, entre os vários pesquisadores dos sistemas complexos, independente do campo de conhecimento investigado, apresentar uma estrutura de evolução representada por níveis. Nesse eixo de discussão, destacam-se: Simon (1969), Gell-Mann (1996), Pettersson (1996), Kauffman (1993), Turchin (1977), Le Moigne (1977) e Heylighen (1988). Contudo, as abordagens diferem na percepção dos mecanismos que estão por trás desse processo de evolução, cada uma buscando compreender algumas questões, tais quais: como os níveis emergem? Em que momento do tempo? E por quê?

Heylighen (2001) observa que vários autores tentam responder a essas indagações, apresentando abordagens diversas e com resultados diferentes. Essa incoerência deve-se a três fatores: (1) ao trabalho isolado desenvolvido pelos pesquisadores que vêm de diferentes tradições, mencionando, apenas, os trabalhos uns dos outros; (2) à emergência de níveis hierárquicos representar uma questão multidisciplinar, envolvendo, pelo menos, a Física, a Química, a Biologia e a Sociologia; (3) ao problema ser intrinsecamente difícil, abrangendo muitos fenômenos, sobre os quais pouco se conhece, com escalas e domínios muito amplos e, em essência, indefinidos.

Assim, em decorrência da diversidade de abordagens, Heylighen (1999) propõe uma classificação baseada no tipo de percepção que os pesquisadores possuem da complexidade. O autor estabelece que a maioria das percepções pode ser enquadrada em quatro abordagens principais: quantitativa, qualitativa, estrutural e funcional.

A *abordagem quantitativa* visa a reunir dados numéricos sobre os diferentes níveis da complexidade, tais como: tamanho, massa ou informação, representando o conteúdo de um sistema num dado nível e o tempo de sua emergência. Nessa abordagem, há uma tentativa de encontrar regularidades ou leis que governem as relações entre esses parâmetros.

A *abordagem qualitativa* aponta para a compreensão de como e por que níveis mais altos de complexidade emergem, considerando os mecanismos evolucionários de complexificação.

A *abordagem estrutural* trata de compreender como os subsistemas são incorporados por supersistemas.

A *abordagem funcional* foca a atenção nos níveis de processamento de informação e controle.

Considera-se a classificação de Heylighen (2001) como base para a estruturação das principais abordagens teóricas sobre a evolução dos sistemas complexos. Na seqüência, nas próximas quatro seções, apresentam-se as abordagens que se enquadram nos aspectos quantitativo, qualitativo, estrutural e funcional.

2.4.1 ABORDAGENS QUANTITATIVAS

A abordagem quantitativa se manifesta pela indução. A preocupação é descrever os parâmetros numéricos que evidenciem os níveis de evolução do sistema e, a partir de então, criar leis que governem os níveis de evolução constatados. Trata-se de uma abordagem pouco significativa para o estudo dos sistemas complexos, pois seu interesse principal é o número físico de componentes que constitui cada nível. Em contrapartida, seu desenvolvimento representa um degrau importante para as abordagens mais sofisticadas.

2.4.1.1 Abordagem de Pettersson

Pettersson (1996) apresenta nove níveis regulares, em escala linear, que caracterizam a evolução de um sistema. Ele considera o número de entidades componentes e o tamanho de cada nível, a partir dos quais, cria regras para regê-los. Para determinar os níveis, o autor usa escalas exponenciais, contudo reconhece que os componentes envolvidos na formação de cada nível pertencem a uma cadeia com enorme amplitude de escalas. Nesse sentido, é mais apropriado o uso de escalas logarítmicas como ferramenta para o tratamento numérico dos níveis. Trabalhar com escalas logarítmicas para tratar os sistemas complexos é uma opção vantajosa, dada a agilidade empregada no processo, mas aumenta a margem de erro, pois elas

reduzem a diferença de tamanho entre os componentes. Isso pode ocasionar erros na determinação dos componentes que apresentam regularidade de tamanhos, motivo pelo qual, ficaram no mesmo nível.

Por outro lado, o autor incorporou a sua abordagem, além dos níveis macros (sociedades multifamiliares, nações, estados, etc.) e micros (células, moléculas, etc.), níveis intermediários de evolução, sendo esta sua maior contribuição. Para explicar os níveis intermediários, Pettersson (1996) apresenta dois critérios para formação de níveis integrativos: (1) as entidades de alto nível podem ser compostas por entidades de baixo nível; (2) mas algumas das entidades de baixo nível podem existir, independentemente das entidades de alto nível. Como exemplo, menciona os organismos multicelulares, compostos, fundamentalmente, de células individuais. Estas, todavia, existem como forma autônoma de vida sem participar dos organismos multicelulares. Heylighen (2001) discute a existência de um problema nos critérios de Pettersson, os quais permitem a formação de um número indefinido de níveis intermediários. O problema é como delimitá-los?

Por fim, a abordagem de Pettersson torna-se mais interessante quando ele percebe que, desde a emergência da origem da vida, as transições em direção a níveis mais altos de evolução parecem surgir mais rapidamente que o puro crescimento exponencial justificaria. Esse grande aumento é suportado por alguns outros dados que ele reuniu, tais como o crescimento da população humana e a explosão de novas invenções, as quais mostram um similar padrão de aceleração. O autor não apresenta argumento para explicar essa aparente aceleração da evolução, nem observa as transições preliminares que iniciam a emergência começando pelo surgimento das partículas e se estendendo até o aparecimento da vida.

2.4.1.2 Abordagem de Coren

Coren (1998), apesar de apresentar uma abordagem direcionada aos objetivos quantitativos, tal como Pettersson (1996), foca a atenção mais intensamente na aceleração das transições evolucionárias, evidenciadas por Pettersson, mas pouco discutida por este. Coren busca entender como um sistema passa de um nível para outro. Para tanto, propõe equações para modelar os processos quantitativamente, iniciando por uma explicação qualitativa, conceituando o crescimento da informação. O número de níveis instituídos por ele é diferente dos de Pettersson. Coren apresenta treze níveis nos quais um sistema pode se encaixar e ser, rapidamente, transferido de um nível para outro. Apesar dessa abordagem apresentar aspectos

qualitativos, propiciando a iniciação de abordagens concentradas no aspecto qualitativo, não pode ser considerada como uma abordagem qualitativa, pois a preocupação principal está em modelar cada nível, considerando os dados numéricos que o determinam.

2.4.1.3 Abordagem de Klir

Klir (1969) aborda a evolução dos sistemas, tendo como base a Matemática, identificando as características do sistema, deduzidas das variáveis inerentes ao seu funcionamento. Na seqüência, classifica-as e formaliza-as. Para isso, desenvolve uma hierarquia em cinco níveis fundamentais, fundamentado nas seguintes perspectivas: o investigador e o seu ambiente, o objeto investigado e o seu ambiente, a interação entre o investigador e o objeto investigado. Cada nível engloba e completa os níveis mais baixos.

O **nível zero** é representado pelo objetivo do investigador e como ele interage com o objeto investigado. Essa interação funciona como um guia parcial das preferências do investigador, as quais se incluem alguns aspectos: definição do conjunto de variáveis. Acrescentem-se, ainda, os estados potenciais de cada variável e uma descrição do significado de cada estado. As variáveis devem ser divididas em básicas e de apoio. As básicas são aquelas que estão diretamente envolvidas no processo de produção e pertencem a sistemas em estado de estabilidade. As de apoio são aquelas que auxiliam o desempenho das variáveis básicas na mudança de um estado para outro.

O **nível um** é um complemento do nível zero. Ele introduz dados relativos às variáveis, formando um sistema de dados, e inclui todo conhecimento contido no nível zero, mais os dados adicionais disponíveis da observação e da definição dos estados desejados. O **nível dois** é caracterizado pela função de sistema gerador. Este nível indica que as variáveis de apoio podem mudar, porém certas características que definem a função dos dados são invariáveis a tais mudanças. O **nível três** é o nível dos sistemas estruturados, os quais são definidos em função do sistema gerador, ou sistema total. Neste nível, os subsistemas compartilham diferentes variáveis e interagem de diversos modos. O **nível quatro** consiste de metassistemas e são constituídos dos níveis um, dois e três, que funcionam como apoio ao nível meta. O **nível cinco** é caracterizado pela formação de um meta-metassistema, e, assim, sucessivamente, em outros níveis mais altos.

O objetivo da abordagem de Klir (1969) é criar uma ordem hierárquica capaz de facilitar a resolução e o controle dos problemas relacionados aos sistemas. Ele se preocupa com a determinação do número de componentes de cada nível, com o desenvolvimento de ferramentas para a análise das interações e com a quantidade de informação armazenada em cada nível hierárquico.

A classificação de Klir é adequada a situações bem-estruturadas e inadequadas a problemas sociais distintos de natureza imensurável.

2.4.2 ABORDAGENS QUALITATIVAS

A abordagem qualitativa é caracterizada pelo estudo das transições evolucionárias, a preocupação dela é compreender os mecanismos de evolução do sistema, passando de um nível para outro.

2.4.2.1 Abordagem de Turchin

Turchin (1977), com o objetivo de estudar a evolução dos sistemas, introduz um novo conceito: o metassistema de transição (MST), o qual envolve a integração e o controle dos sistemas. O autor apresenta, também, como mecanismos da evolução, o processo de tentativa e erro, a aptidão do sistema, o processo variação-seleção e a co-evolução.

Um metassistema de transição é definido como um processo de integração evolucionária, no qual um sistema de baixo nível de complexidade é englobado e controlado pela emergência de um sistema de mais alto nível de complexidade. Ele aplicou esse conceito aos sistemas sociais, analisando a sociedade como um metassistema, a qual denomina superorganismo ou super-ser. Na sua visão, a sociedade é um sistema integrado formado de seres individuais e, no conjunto, preservado por certos mecanismos de controle.

A originalidade da abordagem de Turchin está nos seus fundamentos derivarem da Cibernética, mais especificamente do uso dos conceitos de regulação e controle, os quais, naturalmente, levam a uma organização hierárquica, à diferenciação e ao aumento funcional.

A base da teoria dos metassistemas de transição é o processo de evolução de *tentativa e erro*. Os sistemas evoluem se tiverem a capacidade de emergirem por meio de subseqüentes variações na configuração existente e se cada uma das variações for apta a competir com tal

configuração. O autor argumenta que um sistema formado pela integração de uma variedade de subsistemas e que possui um controle coordenado em direção à ação dos subsistemas será mais apto que o sistema meramente composto pela agregação de subsistemas sem controle global.

Os sistemas evoluem por meio da *variação e da seleção* e podem ser modelados na tentativa de maximizar ou otimizar a aptidão. A aptidão é uma função complexa do sistema com o ambiente deste, um índice de probabilidade que o sistema possui e replica. Os sistemas selecionados são os que possuem alta aptidão. Assim, a variação pode ser vista como uma exploração de possíveis configurações com diferentes graus de aptidão. Kauffman (1993) trata a exploração como um movimento através de um cenário de aptidão (*fitness landscape*), onde as configurações correspondem aos pontos em duas dimensões, representadas pelo espaço e pela forma. Estas correspondem ao valor das configurações ao longo de uma terceira dimensão no tempo.

Heylighen e Cambell (1995) destacam que a evolução pode ser representada como uma contínua trajetória através do cenário de aptidão, onde gradualmente regiões altamente aptas são expandidas, com possibilidade de transição para as regiões de baixa aptidão. Isso acontece quando as variações não são muito adaptativas, mas não são tão ruins para eliminar diretamente o sistema. As mudanças, no cenário de aptidão, são causadas pelas pressões do ambiente. O que muda, em parte, devido às freqüentes tentativas de evolução dos sistemas que buscam otimizar as próprias aptidões. Essa interdependência, em que a mudança na aptidão de um sistema muda a aptidão de outro sistema, e vice-versa, é denominada *co-evolução*.

Turchin (1977) apresenta alguns tipos de *co-evolução* e as distinções entre elas: as co-evoluções de soma zero ou soma negativa que derivam das interações competitivas; as co-evoluções de soma positiva que podem produzir cooperação ou simbiose.

As co-evoluções de soma zero ou negativa podem ser representadas pela analogia das corridas armamentistas entre predadores e presas, nas quais as presas evoluem para correr mais rápido e, assim, aumentar as chances de escapar do predador. Nesse caso, estão aumentando a sua aptidão e diminuindo, ao mesmo tempo, a aptidão do predador. Isso aumenta as pressões seletivas no ambiente do predador, fazendo com que aumente a velocidade dele para acompanhar a evolução das presas. Nesse processo, podem ocorrer dois eventos: os predadores aumentarem sua aptidão para a caça, pela imposição das presas, ou se tornarão extintos pela falta de comida, se não evoluírem no mesmo patamar das presas.

Outro exemplo, de co-evolução de soma zero ou negativa é retratado por sistemas que compartilham os mesmos recursos, como as árvores que formam uma floresta. Se a competição pode levar ao aumento, na aptidão absoluta dos competidores, a rede de efeitos pode, também, levar a uma aptidão individual decrescente. As árvores, na tentativa de captar mais luz solar que suas vizinhas da floresta, desenvolvem a habilidade de crescer mais, desencadeando uma competição entre elas. Induzida pela altura, essa competição requer mais recursos para o seu desenvolvimento e manutenção, mas, ao mesmo tempo, torna a árvore mais vulnerável ao vento, aos terremotos, aos raios, aos insetos etc. O resultado é que as árvores perdem aptidão global enquanto tentam manter sua aptidão relativa aos competidores. Se alguma árvore não participar da competição, será completamente ofuscada pelos competidores.

As co-evoluções de soma positiva podem ser representadas no reino animal, mais provavelmente por espécies geneticamente diferentes, como algas e fungos. Um líquen consiste de dois organismos não-relacionados, uma alga e um fungo, numa associação simbiótica. A alga, por conter clorofila, é capaz de extrair dióxido de carbono do ar e transformá-la em matéria orgânica no seu interior; o fungo é capaz de usar a matéria orgânica produzida pela alga e converter em recursos. Nesse caso, a melhoria nos recursos utilizados não só pela alga como também pelo fungo produzirá mais recursos disponíveis para outros organismos, aumentando a aptidão para ambos os sistemas. Assim, as co-evoluções de somas positivas acontecem quando as mudanças se dão na mesma direção; o aumento na aptidão de um subsistema aumenta a aptidão do sistema global.

O tipo de co-evolução pode ser alterado se o sistema conseguir mudar seus mecanismos para acessar e consumir recursos. Nesse caso, pode passar de uma co-evolução de soma zero para uma de soma positiva. Em outras palavras, pode passar de um cenário de interações competitivas para um cenário de interações cooperativas.

Outro aspecto levantado por Turchin (1977), no processo de co-evolução dos sistemas, é a diferenciação entre os subsistemas, após iniciarem a transição. Como exemplo, apresenta os organismos multicelulares, que foram, inicialmente, células similares e diversificadas, durante a evolução, em células do fígado, glóbulos brancos do sangue, células nervosas etc., encontradas em organismos superiores. Contudo esse desenvolvimento não é óbvio. Nota-se que sistemas similares possuem similares cenários de aptidão, motivo pelo qual tendem a mover-se em direção ao mesmo ótimo. Esse efeito é amplificado pela competição, a qual aumenta o pico do cenário de aptidão e diminui a probabilidade de divergência espontânea

(*drift*) de trajetórias no cenário. A competição tende a impedir, ao invés de ajudar a diferenciação.

O autor finaliza a abordagem ressaltando a importância da cooperação e dos mecanismos de controle no processo de evolução dos sistemas complexos. Apesar de parecerem conceitos contraditórios, é a associação deles que permite o processo de diferenciação em determinados níveis, o que leva a novas características emergentes, ajudando a distinguir um nível do outro.

2.4.2.2 Abordagem de Maynard e Szathmáry

Maynard e Szathmáry (1999) tratam das transições evolucionárias, com base na cadeia biológica, das moléculas à sociedade. Ambos são biólogos: o primeiro é especialista em teoria evolucionária e aplicações da teoria dos jogos ao comportamento humano; o segundo é especialista em biologia molecular.

Eles abordam de forma detalhada, o processo de complexificação biológica; de forma menos intensa, tratam das transições não-biológicas como a emergência da linguagem humana.

Assim, definem “a mais importante transição” como um evento no qual entidades que poderiam ser replicadas, independentemente da ocorrência da transição, passam a ser organizadas dentro de um sistema global que somente pode ser replicado como um todo. Como exemplo, cita a origem da vida, cujas moléculas são organizadas num ciclo autocatalítico, em que todos os componentes são necessários para replicar uns aos outros, como os genes que se organizam num cromossomo, perdendo, por isso, a liberdade de se replicarem independentemente, e as células que se juntam para formar um organismo multicelular. Visto que todos os replicadores contêm informações, uma transição evolucionária muda fundamentalmente o caminho no qual a informação é armazenada, transmitida e traduzida.

Os autores se concentram em explicar as diferenças entre uma transição e outra, apoiados na lógica Darwiniana da seleção natural. Isso exige um trabalho detalhado e difícil, pois cada transição resulta numa série de variações pequenas e indiretas, cada uma das quais conferindo suficiente aptidão à sobrevivência. Os sistemas, em determinado nível, podem ser suficientemente aptos para sobreviver. O problema está nas formas intermediárias, nas quais

componentes são retidos em alguns níveis por um englobamento organizacional, mas, mesmo assim, capazes de replicação independente. Como exemplo de formas intermediárias, citam o caso dos replicadores “egoístas” e a coletividade da qual faz parte. Embora os replicadores egoístas sejam benéficos a todos os membros de uma coletividade para a qual seus componentes cooperam em direção a um objetivo comum, os grandes beneficiados são os desertores (*free riders*), que lucram dos benefícios da cooperação sem contribuir para que eles ocorram. As formas intermediárias capazes de replicação independente emergem dos verdadeiros cooperadores, que perdem o próprio potencial de replicação egoísta para beneficiar o coletivo, fato que os exclui da competição pela sobrevivência em decorrência do egoísmo dos desertores.

Maynard e Szathmáry (1999) não propõem uma solução geral para esse problema fundamental das formas intermediárias. Eles consideram cada transição no seu próprio nível e examinam mecanismos que possam ter suprimido a tendência para desertar. Deixam claro que a organização dos organismos biológicos é muito complexa e há pouco conhecimento sobre o funcionamento dela e, menos ainda, sobre sua história, o que dificulta a compreensão dos detalhes da evolução.

2.4.2.3 Abordagem de Dawkins

Dawkins (1986) estuda os mecanismos de evolução dos sistemas observando a evolução biológica e a evolução cultural. Considera que o mecanismo de evolução humana mais comum pode ser encontrado na cultura: conhecimento ou crenças compartilhados entre os indivíduos por meio da comunicação. Uma crença é formada a partir do conhecimento, ou do padrão de comportamento que é transmitido e replicado de um indivíduo para outro. Para o autor, a evolução cultural é análoga à evolução biológica e, em geral, a todo processo evolutivo. Estabelece que, para ocorrer o processo de evolução, são necessárias:

- abundância em diversidade de elementos;
- herança ou replicação;
- idoneidade diferencial ou número de cópias em função da interação destes com o meio.

Esses elementos do processo evolutivo precisam de outros fatores que os impulsionem. A replicação precisa da longevidade, da fecundidade e das cópias das unidades que se replicam. Nenhum desses elementos faz referência específica a entidades biológicas, as

quais, geralmente, são descritas como a base de qualquer processo evolutivo-biológico ou não.

Dessa forma, do mesmo modo que a vida evolui pela sobrevivência diferencial dos genes, entidades reprodutoras dos organismos vivos sujeitos à seleção natural, a cultura evolui mediante a sobrevivência diferencial dos replicadores culturais, denominados por Dawkins de “memes” ou unidades mínimas de informação cultural, que se submetem, também, a um processo de seleção.

O termo “memes” foi criado por Dawkins pela semelhança fonética com a palavra “genes”⁹ e por evidenciar a semelhança da raiz do termo com memória e mimesis. O autor argumenta que a natureza biológica se constitui de informações genéticas articuladas por genes, e a cultura se compõe pela informação acumulada na memória e captada, geralmente, por imitação (mimesis), aprendizagem e assimilação articulada pelos memes.

Assim, na visão de Morató (199-?), a partir da perspectiva da teoria dos memes, pode-se concluir que existem dois tipos distintos de processadores de informação: (1) o genoma ou sistema de genes situados nos cromossomos das células de cada indivíduo, o qual determina o genótipo; (2) o cérebro e o sistema nervoso, que permitem o processamento da informação cultural.

A informação genética do genoma pode ser dividida em unidades mínimas de informação, os fatores hereditários ou genes, os quais são transmitidos sexualmente de uma geração à outra por meio da replicação. A informação cultural que é transmitida de cérebro para cérebro, por meio do ensino, da imitação e assimilação, pode se dividir em unidades simples, tais como: idéias, conceitos, técnicas, habilidades, costumes, crenças, etc., denominado **memes** (MORATÓ,199-?).

A tese central de Dawkins (1986) é que os traços culturais, também, se repetem. Assim como os traços genéticos se transmitem pela replicação dos genes, da mesma forma os traços culturais se transmitem pela replicação dos memes. Por analogia com o agrupamento dos genes nos cromossomos, os memes se agrupam em dimensões culturais, que podem aumentar com novas aquisições culturais. A diferença é que, nos cromossomos, as informações são naturais e independentes das ações individuais. Já as dimensões culturais são construções decorrentes das ações dos indivíduos.

⁹ O termo genes foi introduzido em 1909 por Wilhelm Johannesen para designar as unidades mínimas de transmissão de herança genética (MORATÓ, 199-?).

Para o conjunto dos memes, aplicam-se as características próprias do processo evolutivo: fecundidade, longevidade e fidelidade na replicação, as quais ocorrem num amplo campo de variação, replicando-se por mecanismos de imitação, transmissão e exibindo um amplo leque de cópias que são mantidas por diversos meios. Com isso, tem-se um marco geral de um processo evolutivo, que é comparado com a evolução biológica e aceita que os memes devem ser considerados como estruturas viventes, não só metafóricamente, mas tecnicamente. Os memes alternativos, que podem servir para efetuar as mesmas funções, são denominados alelomemes ou memes homólogos. Eles podem se agrupar formando macromemes, que constituem um sistema de muitos memes estruturados e inter-relacionados que formam um objeto cultural completo, tal como um idioma, uma teoria, uma mitologia.

Por outro lado, Heylighen (2001) argumenta que, para modelar a estrutura do meme, podem-se usar conceitos da ciência cognitiva. Ressalta que, talvez, a mais popular unidade usada para representar um meme seja o conhecimento da inteligência artificial da produção de regras, do tipo: “se há condição, então há ação”. Destaca que a ação leva, em geral, à ativação de outra condição. Na verdade, a produção de regras pode ser analisada como uma combinação de elementos primitivos: duas distinções e uma conexão. Cita, como exemplo, o meme “Deus é onipotente”, o qual pode ser modelado como “se o fenômeno é Deus, então o fenômeno é onipotente.”

Isso mostra a tentativa de Heylighen representar mais efetivamente como os memes evoluem e se firmam no tempo.

2.4.2.4 Abordagem de Kelly e Allison

Kelly e Allison (1998) discutem que os sistemas passam por um processo de evolução, representado por níveis de aptidão. O nível de aptidão do sistema pode ser expresso pela capacidade que ele possui de identificar, reconhecer, acessar as informações e se ajustar às perturbações externas sem, necessariamente, se desorganizar internamente. Num modelo avançado de complexidade, os níveis de aptidão são determinados por graus de intervenção, que se formam pela interação dos agentes autônomos. Estes são caracterizados pela energia colaborativa que possuem, pelo profundo compromisso existente entre eles, pelo aprendizado compartilhado e pelo efetivo processo de execução das atividades, conforme as necessidades do ambiente interno e externo.

O objetivo dos autores é empregar o referencial teórico das Ciências da Complexidade como uma vantagem competitiva na gestão de organizações empresariais. Kelly e Allison (1998) destacam que, no passado, as ferramentas e as técnicas eram desenvolvidas para tratar os problemas em partes isoladas, de acordo com as mudanças ocorridas nos negócios. Essa maneira de resolver os problemas ignorava a complexidade existente no sistema como todo. Como a abordagem das Ciências da Complexidade fornece elementos para tratar os problemas, considerando o seu contexto, os autores usam uma estrutura conceitual que estimula a emergência da construção, manutenção e consciência da auto-organização. Cada sistema auto-organizado é de um tipo, ao invés de possuir um padrão comum para todas as empresas ou partes da empresa.

Assim, Kelly e Allison (1998) estabelecem cinco níveis de aptidão em que um sistema pode se enquadrar, de acordo com o tipo de auto-organização predominante. O primeiro é o nível da **auto-organização inconsciente**. Embora seja possível que as organizações empresariais possam obter uma auto-organização consciente, a maioria das experiências acumuladas não é consciente do seu processo de auto-organização. Nesse primeiro nível, emerge uma organização independente do conhecimento e desejo do agente. Nesse sentido, Kelly e Allison (1998) ressaltam que aceitar o primeiro nível é o passo mais importante para a evolução do sistema, pois, ao se admitir, que não se tem controle sobre todas as interações da empresa, é possível conhecer as próprias limitações, buscando maneiras de superá-las. O segundo nível é o da **auto-organização consciente**, no qual o processo de auto-organização se dá num grupo de agentes. A partir da consciência da falta de controle total, os grupos se comprometem e se disciplinam para uma comunicação aberta, aprendizagem compartilhada; planejam jogos internos para trocar experiências e buscam caminhos que melhorem o desempenho dos resultados empresariais em relação ao ambiente. O terceiro nível é o da **auto-organização orientada**, em que já existe uma certa estabilidade, adquirida no segundo nível. Assim, as equipes, além de conhecerem seus processos, transformam-nos em processos locais mais efetivos em substituição a hábitos usuais que não são efetivos. O objetivo deste nível é criar um conjunto de padrões locais fortes que possibilitem a unidade (departamento, por exemplo) ser efetiva. O quarto nível é o da **auto-organização orientada qualitativamente**. Nesse nível, as empresas são vistas como um todo formado de partes integradas; desenvolvem, por isso, métodos para investigar e simular possíveis alternativas para intervir na dinâmica que exhibe os sistemas complexos. Para tanto emprega as ferramentas matemáticas, a linguagem natural dos sistemas complexos

adaptativos, articula o potencial dos cenários emergentes para exibir o comportamento das empresas auto-organizadas e co-evolutivas. Os grupos, efetivamente, usam a riqueza das ferramentas quantitativas para trilhar e guiar as interações. O quinto nível é o da **capacidade consciente de** autopoiese, em que as atividades são dirigidas à melhoria do desenvolvimento de todos os níveis do negócio. O negócio e sua estrutura hierárquica de grupos desenvolvem a capacidade de observar e construir ou se ajustar aos caminhos emergentes, o que aumenta a aptidão competitiva. Nesse nível, a empresa reconhece que não é completamente apta para todas as tarefas, sendo necessário desenvolver uma rede empreendedora de comportamento consciente que aumente a aptidão dela. Assim, agentes de adaptação inteligente encontram uma auto-organização autopoietica que leva às empresas a co-evoluírem com o ambiente.

Kelly e Allison (1998) concluem argumentando que o estabelecimento desses níveis pode ser usado para, inicialmente, acessar; depois, melhorar o desempenho empresarial. De um nível para outro, o foco central muda de relacionamentos fechados para redes mais abrangentes de relacionamentos. Primeiro concentra-se em construir um rigoroso compartilhamento entre colegas próximos, formando equipes individuais; depois, conexões livres entre grupos, seguidas, por conexões entre conjunto de grupos em redes de interações. Essas poderosas redes de conhecimento especializado e de amplas experiências são usadas para processar e distribuir tomadas de decisão, proporcionando ao sistema capacidade de estabilidade e suporte a mudança.

2.4.3 ABORDAGENS ESTRUTURAIS

A abordagem estrutural é caracterizada pelo estudo da hierarquia dos sistemas. Em outras palavras, preocupa-se em compreender como os sistemas são englobados por outros.

2.4.3.1 Abordagem de Simon

O termo “hierarquia” é o foco norteador da abordagem instituída por Simon (1969) para compreender a evolução dos sistemas complexos. Por isso, conforme Morin (2002), deve-se compreender o significado desse termo no seu contexto. Usualmente, o termo hierarquia possui duas conotações básicas: a primeira é inspirada na visão sistemista que considera a hierarquia como níveis de integração; a segunda, na percepção etologista que

considera a hierarquia como subordinação. Para Morin (2002), existe uma outra conotação para o termo hierarquia, quando é aplicado a organizações vivas, pois estas comportam as duas visões: dominação, por um lado, e integração, por outro.

Simon (1969) notou que a complexidade, freqüentemente, toma forma de hierarquia, enquanto os sistemas complexos consistem de subsistemas inter-relacionados, os quais são compostos pelos próprios subsistemas, numa seqüência, até que se atinja um nível de componentes elementares ou primitivos. A escolha do nível mais baixo, num determinado sistema, é dependente não somente da natureza do sistema, mas também dos interesses da pesquisa. Assim, a visão de Simon sobre hierarquia está associada à noção de níveis em integração.

Nesse sentido, Morin (1977) estabelece distinções que permitem categorizar os sistemas em alguns níveis: *Sistema*, para todo sistema que manifeste autonomia e emergência com relação ao que lhe é exterior; *Subsistema*, para todo sistema que manifeste subordinação em relação a um sistema no qual ele é integrado como parte; *Supra-sistema*, para todo sistema que controla outros sistemas, mas sem integrá-los em si; *Ecossistema*, para o conjunto sistêmico cujas inter-relações e interações constituem o ambiente do sistema que nele está englobado; *Metassistema*, para o sistema resultante das inter-relações mutuamente transformadoras e englobantes de dois sistemas anteriormente independentes.

Na visão de Morin, as fronteiras entre esses termos não são claras; eles mesmos são substituíveis entre si, de acordo com a focalização, o recorte, o ângulo de visão do observador sobre a realidade sistêmica em consideração.

Simon (1969) define um sistema hierárquico, ou uma hierarquia, como um sistema composto de subsistemas inter-relacionados, cada um dos quais hierárquico em estrutura, até atingir um determinado nível inferior de subsistemas elementares. O conceito de hierarquia não está no sentido de uma seqüência *top-down*, de autoridade e controle, mas no sentido de níveis semi-autônomo, formados de interações entre um conjunto de variáveis que compartilham similares velocidades. Cada nível comunica um pequeno conjunto de informações ou quantidade de recursos para o próximo nível superior. Se as transferências de um nível para outro forem mantidas, as interações dentro dos próprios níveis podem ser transformadas ou as variáveis mudadas, sem que o sistema como um todo perca sua integridade. Como consequência disso, a estrutura do sistema permite ampliar a experimentação dentro dos níveis e, por isso, aumentar a velocidade da evolução.

Para explicar como a evolução de um sistema é favorecida pela hierarquia de níveis, Simon apresenta uma parábola de dois fabricantes de relógios, os quais possuíam similares habilidades e produziam relógios excelentes. Os relógios possuíam a mesma quantidade de peças (1.000 cada um) e eram igualmente procurados pelos clientes; mas enquanto um fabricante prosperava, o outro ficava cada vez mais pobre. Isso é decorrente da forma como os relojoeiros produziam os relógios. Enquanto o primeiro construía-os em partes pré-montadas, em torno de dez elementos cada, sendo que dez dessas partes formariam um relógio completo, de modo que, se precisasse interromper a montagem, para atender a um cliente, por exemplo, perderia muito pouco do trabalho realizado, o segundo não os construía seguindo uma ordem hierárquica, de modo que, se precisasse parar, perderia todo o trabalho realizado.

Dessa forma, o primeiro relojoeiro conseguia fabricar os relógios em frações de horas, em relação ao tempo consumido pelo segundo fabricante, motivo pelo qual se explica a prosperidade de um e o empobrecimento do outro.

O autor discute, ainda, como a parábola dos relojoeiros pode ser aplicada à evolução biológica, à resolução de problemas e à construção de impérios. Observa que, no caso da evolução biológica, o tempo, para a evolução de uma forma complexa, a partir de elementos simples, depende, criticamente, dos números e da distribuição de formas estáveis intermediárias potenciais. No caso da resolução de problemas, um resultado parcial que representa progresso reconhecível em direção ao objetivo faz o papel de uma submontagem estável. No processo de resolução humana de problemas, há uma mistura variável do processo de tentativa e erro e de seletividade, as fontes da qual derivam da captação de informação extraída do ambiente exterior, por meio da retroação.

A teoria da hierarquia de Simon está associada à idéia de *integron* instituída por Jacob (1970), a qual estabelece que cada unidade é constituída pela integração de subunidades. Assim, um *integron* é formado pelo agrupamento de *integrans* de níveis inferiores que, por sua vez, participam da construção de um *integron* de nível superior. A mesma idéia aparece na noção de *org* proposta por Gérard (Gérard, 1957 *apud* Morin 2002) e na proposta de Koestler (1967), que denomina os subsistemas que formam um nível de *holons*¹⁰. A palavra *holon* é amplamente utilizada na teoria da hierarquia, por representar a idéia de que os subsistemas, em cada nível de uma hierarquia, agem como o todo, quando analisados de cima para baixo, e como parte, quando analisados no sentido contrário.

¹⁰ O termo *Holons* é formado pela palavra, de origem grega, *holos*, que significa todo e do sufixo *on*, que significa parte ou partícula, como prótons ou nêutrons (KOESTLER, 1967).

Assim, Wu (1999) argumenta que um sistema hierárquico possui duas estruturas: uma vertical e outra horizontal. A vertical é composta de níveis, e a horizontal é composta de *holons*. Os níveis hierárquicos são separados, fundamentalmente, por processos com características diferentes. As fronteiras entre os níveis e os *holons* são expressas pelas regiões onde há a exibição de alta variabilidade na intensidade das interações. O fluxo de recursos, energia e informações são vistos como filtros dessas interações.

Os sistemas hierárquicos de altos níveis são caracterizados por entidades que mudam no decorrer de lentas e longas trajetórias. Em outras palavras, os eventos são de baixa frequência, enquanto os níveis baixos são caracterizados por entidades que mudam no decorrer de rápidas e curtas trajetórias; os eventos são de alta frequência. Os relacionamentos entre dois níveis adjacentes são assimétricos: o nível superior funciona como uma restrição para o nível mais baixo, já o nível mais baixo fornece as condições iniciais para o nível superior. Por outro lado, os relacionamentos entre os subsistemas (*holons*), em cada nível, são simétricos e podem ser diferenciados pelo grau de interações entre os componentes. Ou seja, os componentes interagem mais forte ou mais frequentemente dentro do que entre os subsistemas. Como exemplo, o autor cita a intensidade das interações entre os componentes subatômicos; estes possuem interações mais intensas que as entre os átomos, que, por sua vez, são mais fortes que entre as moléculas.

Simon (1974) argumenta que essas características das estruturas hierárquicas podem ser explicadas em decorrência da associação vertical flexível, a qual permite uma distinção entre os níveis, e a associação horizontal flexível, que permite a separação entre os subsistemas em cada nível.

A existência das associações flexíveis, verticais e horizontais, forma a base do conceito de decomponibilidade dos sistemas complexos, instituído por Simon (1969). Decomponibilidade e decomposição representam um dos pilares essenciais da teoria da hierarquia. Enquanto a palavra “flexível” sugere “decomponível”, a palavra “associação” implica resistência à decomposição. A completa decomposição ocorre, apenas, quando a associação entre os componentes torna-se zero, o que parece sem sentido, pois, por definição, um sistema é composto de partes que interagem. Logo, a estrutura hierárquica dos sistemas complexos é somente quase completamente decomponível, ou quase decomponível (SIMON, 1969).

O conceito de quase decomponibilidade pode ser definido pela matemática dos sistemas dinâmicos, que relaciona a decomposição à agregação de propriedades, para a qual

vários métodos analíticos têm sido desenvolvidos (SIMON, 1969 *apud* SIMON e ANDO, 1961). O conceito de quase decomponibilidade que é utilizado pela teoria da hierarquia é o seguinte: os sistemas hierárquicos quase decomponíveis são capazes de transformar um sistema de médio número de elementos num sistema de pequeno número de elementos, sem desconsiderar as interações entre eles. O objetivo é gerenciar melhor cada nível. Em outras palavras, a quase decomponibilidade natural dos sistemas complexos fornece a chave para o gerenciamento dos sistemas, por meio da análise das interações (SIMON,1974).

García (2002), a partir dos conceitos de decomponibilidade e quase decomponibilidade, instituídos por Simon, apresenta uma classificação semelhante, cuja aplicação é direcionada à construção do conhecimento. *Sistemas decomponíveis* são conjuntos de elementos organizados, com funcionamento característico, mas cujas partes são isoláveis e podem se modificar independentemente umas das outras. Um sistema decomponível muito sofisticado é chamado de complicado, mas não de complexo. *Sistemas não decomponíveis ou semidecomponíveis* são sistemas constituídos por processos determinados pela confluência de múltiplos fatores que interagem de tal maneira que se tornam inseparáveis. Em consequência, o sistema não pode ser descrito adequadamente, nem seu funcionamento explicado, pela mera adição de enfoques parciais provenientes de estudos independentes de cada um dos seus componentes. Num sistema não decomponível, os diferentes componentes somente podem ser definidos em função do resto. Denominam-se complexos os sistemas cujos elementos ou subsistemas estão interdefinidos.

Alguns tipos de sistemas hierárquicos podem ser analisados com sucesso por sistemas quase decomponíveis. A principal descoberta teórica do método pode ser resumida em duas proposições: (1) num sistema quase decomponível, o comportamento a curto prazo de cada um dos subsistemas componentes é, aproximadamente, independente do comportamento a curto prazo dos outros componentes; (2) a longo prazo, o comportamento de qualquer dos componentes depende, apenas, de uma forma agregada do comportamento dos outros componentes (SIMON,1969).

O fato de muitos sistemas complexos possuírem uma estrutura hierárquica quase decomponível é um fator fundamental para perceber, compreender e descrever esses sistemas, suas partes e sua evolução (SIMON,1969).

2.4.3.2 Abordagem de Boulding

Boulding (1956) discute a evolução dos sistemas a partir da preocupação com a superespecialização da ciência e a falta de comunicação entre os diferentes campos dela. O referido autor propõe uma hierarquia da complexidade que contemple conceitos abrangentes que possam agrupar os sistemas, independente do campo de atuação, assim como possibilita a comunicação entre os níveis. Ele cria nove níveis hierárquicos.

O primeiro nível hierárquico é o nível das **estruturas estáticas**, o qual se manifesta pela descrição do sistema com precisão de função e posição. Como exemplo, cita o arranjo de átomos em um cristal, a anatomia dos genes, das células, das plantas etc. O segundo nível é denominado **mecanismo do relógio**, que funciona como um sistema simples com movimento predeterminado. São sistemas que apresentam movimentos suavemente equilibrados. O terceiro nível é o de **mecanismos de controle de sistemas cibernéticos**, caracterizado pela existência de mecanismos de avaliação, transmissão e interpretação da informação. Esses sistemas possuem capacidade de manter o equilíbrio interno (*homeostase*). Um exemplo clássico é o termostato. O quarto nível é o das **células**, caracterizado por estruturas que se automantêm e são sistemas abertos. Como exemplo, cita a vida pela capacidade de captação de energia e recursos e a habilidade de se manter e reproduzir. O quinto nível é denominado nível **planta**, o qual se identifica por seus processos de diferenciação, divisão do trabalho e dependência mútua da função desempenhada pelos vários componentes. Como não possuem órgãos de sentido especializados, a reação às mudanças do ambiente é lenta. O sexto nível é o **animal**, que se caracteriza pela consciência em vários graus. O sistema é composto de um conjunto de sensores especializados, o qual armazena uma grande quantidade de informações de forma estruturada. Isso possibilita reações mais rápidas às mudanças do ambiente. O sétimo nível é o **humano**, caracterizado pela autoconsciência, auto-reflexão e uso de símbolos internos, por meio dos quais o homem acumula conhecimento. O oitavo nível é o da **organização social**, caracterizado pelos canais de comunicação e fatores culturais. O nono nível é o **transcendental**, caracterizado por estrutura sistêmica e relações entre níveis.

O autor argumenta que os três primeiros níveis fazem parte da categoria dos sistemas físicos ou mecânicos. Os níveis da célula, da planta e do animal pertencem à categoria dos sistemas biológicos, botânicos e zoologistas. Na seqüência, o nível humano e o nível da organização social são objetos dos cientistas sociais. O último nível dos sistemas transcendentais pertence ao campo de investigação da filosofia.

O objetivo de Boulding (1956) é mostrar que existem sistemas de campos científicos diferentes que apresentam características similares. Por isso, podem ser agrupados em um determinado nível de evolução. Essa hierarquização possibilita o conhecimento das propriedades emergentes em cada nível, podendo contribuir para o aperfeiçoamento simultâneo dos níveis.

Boulding (1985) reformulou sua hierarquia de níveis da complexidade, redefinindo os níveis, (aumentou de nove para onze), apresentando denominações e conteúdos com algumas inovações. O primeiro nível é representado por sistemas **mecânicos** controlados por conexões simples e poucos parâmetros, como a lei da gravitação. O segundo nível é o dos sistemas **cibernéticos**, os quais buscam a condição de equilíbrio por *feedback* negativo, tal qual o processo *homeostático* ocorrido em sistemas vivos. Os sistemas, nesse nível, são dependentes da captação e transferência da informação. O terceiro nível é o dos sistemas de **avaliação positiva**, os quais tendem para a desordem e apresentam curto tempo de vida. Como exemplo, cita o fogo numa floresta. O quarto nível é o dos sistemas **creóuticos**, termo de origem grega que significa caminho necessário. Isso inclui todos os sistemas que são conduzidos por uma meta e que guiam um plano inicial. Um exemplo é a economia para uma sociedade. O quinto nível é o dos sistemas de **reprodução**, os quais são caracterizados por possuírem instruções que norteiam sua reprodução e seu crescimento. O sexto nível é composto por sistemas **demográficos**. Estes consistem em populações que nascem, reproduzem e morrem, emergindo, desse processo, uma população equilibrada ou não. O sétimo nível é composto dos sistemas **ecológicos**, os quais consistem de várias espécies de populações diferentes interagindo. O tamanho de uma população é determinado por sua estrutura e pelo número de competidores. Se num determinado ambiente, onde co-habitam várias espécies, uma população específica alcançou o equilíbrio, diz-se que ocupa um nicho ecológico. Se muitas populações alcançarem a estabilidade nas interações entre si, formam-se um sistema ecológico. O oitavo nível é o dos sistemas **evolutivos**, os quais podem ser ecológicos. Estes mudam pela influência da seleção e mutação, ou artificiais, que sofrem as mesmas influências dos sistemas ecológicos, mas transferem idéias novas. O nono nível é o dos sistemas **humanos**, diferindo-se dos demais sistemas vivos pela capacidade de processar informação, reconhecimento de padrões, comunicação e habilidades inteligentes, tais como: fala, escrita, etc. O décimo nível é representado pelos sistemas **sociais**, resultantes da interação entre seres humanos e os sistemas artificiais. A natureza dessas interações pode ser classificadas como de

integração, de troca, ou de ameaça. O décimo primeiro nível é o dos **sistemas transcendentais**, representados pelas religiões e experiências filosóficas.

2.4.3.3 Abordagem de Le Moigne

Le Moigne (1977) discute a evolução dos sistemas apresentando uma hierarquia em nove níveis, baseada na abordagem de Boulding (1956). O objetivo é identificar o nível de evolução dos sistemas e as propriedades emergentes em cada nível, para modelá-los de acordo com o grau de complexidade.

O primeiro nível é o do **objeto passivo**. Cita, como exemplos, uma pedra e o solo, os quais são sistemas que apresentam estruturas rígidas e inflexíveis em relação às mudanças do ambiente. Não possuem a capacidade de se ajustarem às perturbações externas. O segundo nível é o da percepção do **objeto ativo**: o sistema possui funções e atividades que são processadas por meio de entradas e saídas, com certa estabilidade no tempo. A atividade do sistema não afeta a identidade dele. O terceiro nível é o do objeto, que manifesta algumas **regularidades** ao funcionar. O sistema é capaz de perceber como se comporta e internamente se ajustar e selecionar o comportamento seguinte. O quarto nível é o da emergência da **informação** na representação do objeto, em que o sistema precisa captar informação para sobreviver. O quinto nível é o da emergência da **decisão**. O sistema é capaz de ação e apresenta duas características principais: (1) suas entradas são informações e (2) os processadores decisórios são caracterizados por uma lógica interna que consegue se ajustar às perturbações externas. O sexto nível é o da emergência da **memória**. O sistema, nesse nível, é capaz de acumular e transferir informações no tempo, melhorando a comunicação no sistema. O sétimo nível é o da **coordenação** ou direção, em que o sistema é capaz de coordenar o processo operação-informação-decisão, considerando o tempo, o espaço e a forma dos processadores. O oitavo nível é o da emergência da **auto-organização**. O sistema é caracterizado pela emergência da inteligência, da consciência, e é acompanhado habitualmente pelo desenvolvimento de uma conexão informacional direta entre o ambiente e os processadores informacionais. O nono nível é o da **finalização**, o qual somente existe se for orientado para determinado fim.

É fundamental que essa abordagem esclareça como um sistema pode ser decomposto em subsistemas e, ao mesmo tempo, como pode interagir com outros sistemas.

2.4.3.4 Abordagem de Heylighen

Heylighen (1991) estabelece uma classificação para a evolução dos sistemas, apresentando uma hierarquia em seis níveis. A intenção do autor é elaborar uma distinção fundamental entre sistemas em diferentes níveis hierárquicos. Assim, o mais alto nível do sistema, na hierarquia, está relacionado ao alto nível de controle que este exhibe. A evolução do sistema de um nível mais baixo para um nível mais alto é associada ao surgimento de uma maior variedade no alto nível de controle do sistema, além do aumento de novos mecanismos de controle que buscam selecionar entre as novas opções. Essa seleção funciona como um tipo de restrição à nova variedade. Um sistema que está num nível alto possui alto potencial para adaptação; ele possui mais opções de ações e mecanismos para discernir entre essas ações, aumentando a probabilidade de tomar boas decisões. A nova variedade envolve novas propriedades e adiciona a imprevisibilidade ausente nos níveis mais baixos, bem como o aumento na autonomia do sistema. A imprevisibilidade no comportamento do sistema aumenta, na proporção que existem mais escolhas possíveis devido ao aumento na variedade. O alto grau de autonomia e a imprevisibilidade introduz em um novo potencial para a complexidade.

Destaca-se que Heylighen (1991, 1995) está interessado, particularmente, na complexidade dos organismos vivos. Na sua visão, a hierarquia que esses sistemas assumem é resultante da habilidade que possuem para enfrentar a complexidade na busca da sobrevivência ou de um comportamento mais satisfatório.

Nesse sentido, Heylighen (1991) estabelece seis níveis hierárquicos que os sistemas complexos podem assumir. O primeiro é o nível **pré-racional**, em que os sistemas possuem mecanismos de seleção biológicos (*vicarious*), dados por seu DNA, mas não são conscientes disso. Os mecanismos de sobrevivência, nesse nível, são exercidos pela capacidade de reprodução, variação e seleção dos indivíduos na população do sistema. Esse é o nível de estudos realizados por Maturana e Varela (1980), nos quais as células vivas são caracterizadas por sua organização autoprodutora (autopoietica). O DNA controla a produção de proteínas e enzimas; estas controlam a produção de DNA. O segundo é o nível do **controle de posição**, caracterizado por sistemas que possuem reflexos simples. Diante de uma nova variedade, há um movimento de seleção e controle que leva a um controle de posição. O movimento está em função das características particulares do ambiente percebidas pelo sistema. Segundo Campbell (1974), os órgãos sensoriais atuam como meio de traduzir as características do

ambiente, numa representação interna, que fornecem informações para a tomada de decisão. O terceiro é o nível dos sistemas com **reflexos complexos**, os quais são necessários para controlar os sistemas com reflexos simples. O quarto é o nível da **aprendizagem**, em que a variedade é administrada a partir de modelos mentais com decisões não-determinísticas. A variedade está em função da intensidade das sinapses, as quais determinam que a probabilidade de um estímulo percorrer de um neurônio para outro é variável. Por isso, o mesmo padrão de estímulo pode levar a resultados diferentes. A variabilidade das conexões sinápticas é descrita por Turchin (1977) como a capacidade de associação. As associações são formadas a partir da aprendizagem, mas são limitadas pelo fenômeno da experiência acumulada. O quinto é o nível **racional**, nele a variedade de conceitos de um contexto pode ser empregada em outro contexto; o controle é exercido apenas pela experiência.

Heylighen (1990) destaca que o fato de os seres humanos poderem imaginar um cão produzindo sons musicais, enquanto um coelho, por exemplo, não tem essa capacidade, mostra que o ser humano possui uma grande variedade de ações possíveis, havendo a possibilidade de os conceitos serem separados dos seus contextos. Nesse caso, eles retêm parte do significado quando são postos em contato com contextos radicalmente diferentes. O sexto é o nível do **meta-ser**, no qual a alta variedade das informações qualitativas de um ambiente é filtrada e fornecida aos seres humanos. O filtro é o controle exercido pela racionalidade humana. Nessa visão, o novo controle emergente será situado no nível individual em vez de no nível social. Cada ser humano dispõe de uma estrutura metarepresentacional implementada por meio de uma avançada interface homem-máquina. Esse fato auxilia o sistema na manipulação do conhecimento, criando novos conceitos e teorias, captando e organizando, eficientemente, todos os valores e fatos existentes e necessários para resolver os problemas.

Assim, a abordagem de Heylighen (1991) se limita a hierarquizar os sistemas vivos e a especificar níveis de evolução, começando com um nível que denominou pré-racional e concluindo com o nível do meta-ser. O autor busca conhecer como os sistemas passam de um nível para outro e quais as características e propriedades que cada nível apresenta.

2.4.3.5 Abordagem de Villegas

Villegas (2001), com base na classificação dos sistemas complexos estabelecida por Heylighen, desenvolveu quatro níveis hierárquicos com a intenção de compreender a evolução dos sistemas complexos e utilizar esse conhecimento para a modelagem deles. O objetivo não é se aprofundar muito dentro de cada um dos diferentes níveis do sistema, nem criar um padrão para cada nível de controle que surge nos organismos durante a evolução, mas capturar as características básicas do sistema em relação às fontes de complexidade e imprevisibilidade que emergem do seu comportamento.

O primeiro nível é o da matéria ou dos **sistemas inanimados** - nível mais básico representado pelos sistemas simples. Diferentes casos de sistemas similares, sob as mesmas condições externas, comportam-se exatamente da mesma forma. O comportamento do sistema é basicamente determinado pelas circunstâncias externas.

As mais importantes leis desse nível são: a Gravitação, o Eletromagnetismo e a Mecânica Quântica. Essas leis dependem do ambiente ou das inter-relações entre os diferentes sistemas e objetos, os efeitos das quais não podem ser mudados arbitrariamente por um sistema em particular. A incerteza é pura, no sentido de que não existe intenção nas entidades envolvidas no fenômeno. Não há autonomia. A complexidade é derivada da aleatoriedade e de leis básicas tais como as previamente mencionadas.

O segundo nível é o dos **organismos vivos**, são os sistemas adaptativos e auto-reprodutivos, mas sem capacidade de argumentação (raciocínio). Nesse nível, estão incluídos todos os sistemas vivos, desde os do nível pré-racional, que surgiram com a origem da vida na Terra, até os do nível de aprendizagem apresentados no quarto nível da hierarquia instituída por Heylighen (1991). O terceiro nível é o dos organismos capazes de raciocínio, ou seja, os **organismos capazes de autoconsciência**, que são aptos a controlar as próprias ações. Nesse nível, surge o controle cognitivo (mental), por isso a complexidade do comportamento de um indivíduo (sistema) não depende somente das circunstâncias, mas também das argumentações internas e de uma fraca noção de autoconsciência, caso o sistema possa construir um modelo simples dele mesmo. O quarto nível é o do **meta-ser**, que é formado por humanos sociais. Estes são mais aptos a enfrentar as dificuldades impostas por outros humanos sociais, que buscam encontrar um bom comportamento na sociedade moderna. Esse metanível é proposto

para ajudar os seres humanos a enfrentar melhor a complexidade. Usualmente, a dificuldade desses seres para compreender os fenômenos é explicada pela barreira de racionalidade.

Assim, a abordagem Villegas (2001) se apóia na abordagem de Heylighen (1991) para desenvolver níveis hierárquicos mais sintetizados que possam englobar a evolução dos sistemas complexos. Ele inicia pelo nível da matéria inanimada e conclui com o nível do meta-ser, a partir do qual, seleciona as leis que regem cada nível e as características que emergem do comportamento do sistema, também, em cada nível.

2.4.3.6 Abordagem de Daft

Daft (2002) observa a evolução do sistema organizacional, usando os conceitos da teoria de sistemas para esse propósito. Assim, diz que todo sistema é formado por subsistemas. Os sistemas estão contidos dentro de outros sistemas, e um nível de análise deve ser escolhido como foco principal. Apresenta, então, quatro níveis de análise: **o indivíduo, o grupo, a organização e o ambiente externo**. O ser humano é o bloco de construção básico das organizações, para as quais o ser humano representa o que a célula representa para um sistema biológico. Na seqüência, o próximo nível é o do grupo ou departamento, que são coleções de indivíduos que trabalham juntos para desempenhar tarefas grupais. O nível organizacional é representado por um conjunto de grupos ou departamentos que compõem a organização total. O último nível analisado pelo autor é o interorganizacional, composto de grupos de organizações com os quais uma única organização interage. Outras organizações da comunidade, também, compõem uma importante parte do ambiente organizacional.

2.4.3.7 Abordagem de Miller

Miller (1990) discute a evolução dos sistemas, tendo como base a Biologia e a Psicologia. Sua abordagem é fundamentada nos preceitos da Teoria Geral de Sistemas, da qual é um representante, no caso específico, dos sistemas vivos.

O autor inicia sua abordagem argumentando que os sistemas vivos, independentemente da espécie à que pertencem, são constituídos de moléculas orgânicas e apresentam uma progressão evolutiva de crescente complexidade. Ele divide os sistemas vivos em oito níveis reais e concretos de hierarquia. Cada nível novo é considerado mais alto

em complexidade que o precedente; inclui os níveis mais baixos e apresenta características diferentes dos demais. Em outras palavras, os níveis mais altos englobam os mais baixos e formam um suprassistema.

Cada nível é constituído de uma estrutura individual e de processos próprios. Assim, o primeiro nível é o das **células**, composto de muitas moléculas não-vivas, formando, por isso, um sistema pouco complexo, mas indispensável no desenvolvimento de processos essenciais à vida. O segundo nível é o dos **órgãos**, constituídos de estruturas de células agregadas. O terceiro nível é representado pelos **organismos**, os quais são compostos de órgãos, em que são incluídos plantas multicelulares e animais. O quarto nível é o dos **grupos**, formado por dois ou mais organismos que interagem entre si. Na visão de Miller (1978), esse é o mais alto nível entre os animais. O quinto nível é o das **organizações**, composto de grupos que apresentam diversidade de tipos com diferentes finalidades e configurações. O sexto nível é o das **comunidades**, constituídas pela interação entre tipos diferentes de organização. O sétimo nível é o das **sociedades**, formadas pelos componentes de tipos diferentes de comunidades e com capacidade de auto-organização. O oitavo nível é o dos sistemas **supranacionais**, constituídos pela cooperação entre duas ou mais sociedades em busca de um objetivo comum.

O foco central da abordagem de Miller (1990) são os sistemas vivos. Ele argumenta que as teorias sociais não podem intervir em entidades enquadradas em níveis inferiores a organismos, mesmo que possuam uma existência real. Argumenta que alguns cientistas os consideram, apenas, como teoricamente necessário e sem uma existência bem definida. O autor discute o que pode ser considerado sistema vivo, observando as conexões físicas como indicadores de tal condição. Ressalta que os sistemas com baixos níveis de complexidade não apresentam conexão física, enquanto, nos níveis mais altos, além das conexões físicas, os componentes são capazes de se movimentar de um nível para outro. Mas destaca a importância da inclusão dos componentes não vivos ou artefatos aos sistemas vivos.

Outra questão discutida pelo autor é a disposição espacial dos componentes do sistema. A importância da localização espacial dos componentes depende da natureza do sistema. Um exemplo, é uma esquadra de guerra que, na tentativa de preservar a vida, precisa trabalhar interligada e fisicamente próxima. Por outro lado, uma família funciona bem, mesmo com seus membros espalhados geograficamente. O espaço ocupado e os limites de tais sistemas são completamente conceituais, eles existem nas mentes das pessoas e não na realidade física. A falta de coesão física entre os componentes de um sistema vivo pode ser compensada por sistemas de comunicação avançados que conectam os componentes.

A esse respeito, Axelrod e Cohen (2000) evidenciam a importância do espaço físico e conceitual no processo de interação dos sistemas. A localização física próxima torna mais provável a interação, mas a proximidade física não é o único tipo de proximidade. A comunicação representa, também, outro tipo de proximidade ativada que independe da proximidade física. A ativação pode ser interna ou externa: aquela ocorre quando o sistema é ativado pela própria organização interna. Esta acontece de acordo com as oportunidades oferecidas pelo ambiente.

Miller (1990) identifica processos comuns que são essenciais à manutenção de todos os sistemas vivos. Esses processos são executados por componentes do sistema, os quais funcionam como captadores de matéria, energia e informação com o objetivo de se adaptar continuamente ao ambiente externo variável e manter o equilíbrio interno.

Nos sistemas vivos, os níveis hierárquicos mais altos são maiores e mais complexos, possuem estrutura e processos diferentes dos existentes nos níveis mais baixos. Esse fenômeno é chamado emergente, o qual dá ao sistema a capacidade de melhor resistir às pressões do ambiente e, por isso, se adaptar com mais facilidade às mudanças desse ambiente.

2.4.3.8 Abordagem de Checkland

Checkland (1981) aborda a evolução dos sistemas tendo como base a teoria dos sistemas. Ele desenvolveu uma hierarquia para os sistemas naturais, denominando-a tipologia dos sistemas. De acordo com o autor, o número mínimo de classes de sistemas para descrever a realidade são quatro: natural, humana, físico projetado e abstrato projetado.

Os **sistemas naturais** fornecem a possibilidade para investigar, descrever e compreender os sistemas a partir da origem do universo e dos processos de evolução. Eles apresentam uma hierarquia óbvia dos átomos para as moléculas. As combinações de moléculas originam uma hierarquia ramificada, a qual é representada pelos sistemas subatômicos, sistemas atômicos, sistemas moleculares e sistemas de origem. Os sistemas naturais podem ser subdivididos em sistemas vivos e não-vivos. Como exemplo, cita os cristais inorgânicos, as pedras e os minerais, representando os sistemas. As células, as plantas, os animais e a ecologia representam os sistemas vivos.

Os **sistemas humanos** tendem a integrar sistemas, por isso são vistos não como uma parte, mas como um todo. Alguns dos sistemas humanos são: o sistema agrícola, o sistema de transporte, o sistema de defesa e o sistema comercial. Apesar da grande quantidade de sistemas que pode ser enquadrada no nível humano, o mais fundamental destes é o sistema social, representado pelas famílias, tribos, clãs etc. A característica comum é que os componentes do sistema social precisam de apoio mútuo no âmbito de uma comunidade. A estrutura central desses sistemas são os sistemas naturais e humanos, motivo pelo qual o autor destaca como um tipo especial de sistema humano.

Os sistemas **físicos projetados** são idealizados mentalmente e são desenvolvidos a partir de uma necessidade. Como exemplo, cita ferramentas individuais, máquinas individuais, projetos e fabricação de entidades materiais.

Os sistemas **abstratos projetados** são representados por vários sistemas de conhecimentos. Enquanto os sistemas físicos projetados podem ser produzidos por animais e insetos, como ninho de pássaro e teia de aranha, os sistemas abstratos projetados são desenvolvidos apenas por humanos.

O autor conclui que todos os sistemas são relacionados entre si em um mapa global. A diferença entre sistemas naturais e humanos dá origem à separação de tipos de investigação. Os métodos usados na ciência clássica, que considera o observador externo ao sistema é pertinente aos sistemas mecânicos. Já os sistemas humanos enfatizam a importância do observador como parte do sistema.

2.4.4. ABORDAGENS FUNCIONAIS

A abordagem funcional é caracterizada pelo estudo da transmissão de informação e do controle no sistema. O objetivo é compreender como as informações são processadas no interior de um sistema e como o controle dos sistemas é exercido.

2.4.4.1 Abordagem de Stewart

Stewart (2000) trata a evolução dos sistemas argumentando que ela é fundamentalmente progressiva, produzindo sistemas cada vez mais complexos e adaptativos. O autor se atém, inicialmente, à Biologia e à evolução cooperativa. Na seqüência, trata da

emergência de altos níveis de controle no processamento da informação, principalmente em sistemas mais inteligentes e mais aptos a encontrar mudanças evolucionárias. Como exemplo, nota que os sistemas aumentam sua capacidade para evolução, pela recombinação vinda da evolução da reprodução assexuada para a reprodução sexuada, a qual permite explorar mais eficientemente o espaço de possibilidade do genoma. Ele se concentra, também, em compreender os diferentes controles exercidos e transmitidos pelos sistemas egoístas, que se transformam em benefícios para o sistema total. Heylighen (2001) analisa essa abordagem como um contraponto entre as abordagens de Turchin (1977), baseada nos conceitos cibernéticos, e a abordagem de Maynard e Szathmáry (1995), aplicada aos sistemas biológicos.

Stewart (2000) considera que a força básica que dirige a emergência dos altos níveis de complexidade é a **cooperação**. Destaca que, se um determinado número de sistemas são administrados para encontrar um padrão de interação que funcione como vantagem mútua ao conjunto de sistemas, o resultado sinérgico produz um supersistema integrado. Um grupo de tais supersistemas pode, novamente, ser integrado por uma reunião cooperativa, determinando um supersistema de alto nível. Logo, o conceito de cooperação se expande, cada vez mais, em períodos mais longos no espaço e no tempo, por exemplo: da cooperação entre as moléculas nas células primitivas para a cooperação entre os países na economia global.

A originalidade da abordagem de Stewart está na proposta de tratamento para os sistemas egoístas, discutido por Maynard e Szathmáry (1999), os quais representam um obstáculo para a emergência da cooperação. Stewart concebe um tipo concreto de sistema “gerente” que controla um grupo por meio de uma proposta totalmente egoísta, mas que termina promovendo uma cooperação benéfica para todos.

Como exemplo, o autor cita o caso do DNA, que, ao tomar o controle do ciclo autocatalítico, conduziu ao surgimento das primeiras células vivas. Da mesma forma, os chefes ou líderes tribais que conseguiram dominar um pequeno bando de pessoas por pura força, gradualmente, transformaram-se em gerentes de uma eficiente organização cooperativa.

Esses exemplos de sistemas “gerentes,” apresentados por Stewart são todos externos ao sistema que eles controlam. O referido autor ressalta que podem existir, também, sistemas “gerentes internos,” apresentando como exemplo, os insetos sociais. Os diferentes membros de uma colônia de formigas são geneticamente muito similares; além disso, não existe evolução independente de genes, visto que somente a rainha de uma colônia é capaz de reproduzir os próprios genes. Isso, leva ao desenvolvimento de um forte sistema de

cooperação, onde as formigas operárias possuem melhores chances de reter e replicar os genes por meio da ajuda prestada à colônia com o objetivo de atingir a máxima produção de descendentes por rainha. Como as formigas operárias não possuem a capacidade de reproduzir, seus genes só são replicados por meio da formiga rainha; elas são muito cooperativas. Os genes egoístas (*free rider*) não sobrevivem, como é o caso das formigas operárias rebeldes, que não cooperam nem são capazes de reproduzir. O autor ressalta que a cooperação é um mecanismo indispensável à evolução dos sistemas, mesmo que, inicialmente, possuam uma proposta egoísta.

2.4.4.2 Abordagem de Gell-Mann

Gell-Mann (1996) trata a evolução dos sistemas observando os mecanismos usados pelas espécies biológicas para se adaptar. Ele diz que, usualmente, a evolução biológica não ocorre de modo uniforme, mas exhibe o fenômeno do “equilíbrio interrompido”, no qual espécies permanecem relativamente imutáveis, pelo menos na sua forma externa (aspecto fenotípico), por longos períodos de tempo, e, então, sofrendo mudanças comparativamente rápidas durante um breve período.

Na evolução biológica, ocorreram eventos de ruptura análogos às rupturas químicas ocorridas no decurso da evolução química pré-biótica. Esses eventos conduziram à origem da vida na Terra, seguida pelo desenvolvimento de formas ancestrais de vida de todos os organismos vivos hoje. Como exemplo, Gell-Mann cita o desenvolvimento dos eucariotes, organismos nos quais a célula possui um núcleo verdadeiro e outras organelas, representadas por mitocôndrias ou cloroplastos. A transformação de organismos mais primitivos em eucariotes unicelulares é decorrente da incorporação de outros organismos, os quais, em associação, se tornam endossimbiontes; em outras palavras, vivem no interior e em simbiose com a célula e formam organelas.

Outro exemplo apresentado pelo autor é a evolução dos eucariontes unicelulares semelhantes às plantas. Cada um deles assume um papel na fotossíntese, utilizando uma parede celular constituída de celulose (membrana que reveste a parede interna da célula). Para existir essa membrana, exige-se uma ruptura bioquímica com a formação de esteróis, os quais são relacionados ao colesterol e aos hormônios sexuais humanos. A evolução desenvolveu organismos possuidores de membranas destituídas de paredes e capazes de sobreviver sem a fotossíntese, adquirindo a capacidade de se alimentar de outros organismos

fotossintetizadores. A emergência dessa capacidade foi a chave para o surgimento dos animais superiores.

A evolução dos organismos pluricelulares, a partir dos unicelulares, por meio da agregação, tornou-se possível em razão de uma outra inovação bioquímica, uma cola que pode manter as células juntas.

Gell-Mann (1996) a partir dos estudos de Morowitz (199-?) argumenta que, em muitos casos, uma pequena mudança no genoma, produzida por uma mutação é derivada de uma série de mudanças que a antecederam, podendo desencadear um evento de ruptura, no qual um organismo adquire novas regularidades muito significativas, as quais o elevam a um nível mais alto de complexidade.

O referido autor discute, também, que a evolução ocorre em etapas, em cada das quais, a complexidade pode aumentar ou diminuir. O efeito da evolução em cada etapa é distribuído pelo conjunto das espécies existentes, pela capacidade de emergência; do máximo de complexidade alcançada, numa etapa, tende a crescer, ainda mais, com o tempo. O autor evidencia a importância da aptidão, da diversidade e das pressões seletivas no decurso da evolução biológica.

A aptidão é a capacidade que cada espécie desenvolve para evoluir na presença de numerosas outras que estão constantemente mudando. Mesmo num sistema simples e quase independente, é difícil definir rigorosamente o grau de aptidão de um sistema ao seu ambiente, no decurso da evolução, até alcançar um estado estacionário. É preciso observar as pressões seletivas, as quais favorecem uma determinada situação em relação à outra, afetando, deste modo, a competição entre os diferentes sistemas. Essas pressões seletivas não podem ser exprimíveis por uma única e bem definida quantidade. Elas podem exigir uma descrição mais detalhada, mesmo no caso de uma única espécie adaptando-se a um meio constante. Por outro lado, é ainda menos provável que uma medida verdadeiramente significativa de aptidão possa ser atribuída a um organismo quando o meio está mudando e, especialmente, quando ele pertence a uma comunidade ecológica altamente interativa de organismos que se adaptam às peculiaridades uns dos outros. A evolução favorece a sobrevivência do mais apto, e os mais aptos são aqueles que sobrevivem ou aqueles cujos parentes próximos sobrevivem. A diversidade introduzida nos animais superiores, pelo mecanismo da reprodução sexual, é uma forma de aumentar a aptidão das espécies e de fazê-las mais resistentes às pressões seletivas do ambiente.

2.4.4.3 Abordagem de Atlan

Atlan (1992) discute a evolução dos sistemas a partir do conceito de hierarquia, informação, entropia, ruído e redundância. Inicia sua abordagem com uma pergunta: Quais são as determinações causais que dirigem a passagem de um nível hierárquico de integração para outro?

Atlan, influenciado pela Matemática, pela Biologia e pela Teoria da Informação de Shannon e Weaver (1949), observa sistemas vindos tanto da Biologia quanto da Matemática. Como exemplo, cita um sistema dinâmico, descrito por equações diferenciais, cujas funções caracterizam o nível de interesse, e as condições limite que caracterizam o nível superior. A compreensão das condições limites, que impõem as constantes de integração, as quais determinam as funções e soluções, é relativamente fácil de determinar. Mas, inversamente, as funções que influenciam as condições limites são mais difíceis de definir. Em outras palavras, como um nível inferior, menos integrado, pode influenciar um nível superior? Como representar o efeito do nível molecular sobre as células, o das células nos órgãos e dos órgãos no organismo?

O autor, observando essas questões, sob a ótica da ciência reducionista, diz que as propriedades do conjunto do sistema vivo encontram sua origem nas propriedades dos componentes físico-químicos, em níveis de integração muito mais elementares. Enquanto, pelo método reducionista, o detalhe gera o geral, o método matemático clássico descreve um sistema em determinado nível por um sistema de equações diferenciais. Nota-se que é usual considerar que o nível superior deve agir sobre o nível inferior, mas, o sentido oposto (o nível inferior agindo sobre o superior) se impõe pela observação e pelo bom senso, sendo mais difícil de formalizar.

Pela ótica da teoria de Shannon e Weaver (1949), nota-se que os mecanismos de criação da informação, a partir do ruído, podem representar um certo progresso no englobamento dos níveis hierárquicos. Nesse sentido, Atlan (1992) argumenta que há uma mudança de percepção. O observador do sistema exerce duas funções: a função de veículo do ruído e a função de capacidade de medição da quantidade de informação do sistema. Assim, o observador não é apenas um ser lógico que faz mensurações, mas também, um nível de integração mais elevado. Esse observador externo ao sistema é, de fato, um sistema hierarquizado, possuidor de um nível de organização superior, englobante, se comparado aos sistemas de elementos que o constituem. É, por exemplo, o órgão em relação à célula, o

organismo em relação ao órgão etc. Para uma célula que olha as vias de comunicação que a constituem, o ruído é negativo; para o órgão que olha a célula, o ruído nas vias do interior da célula é positivo, pelo fato de aumentar o grau de variedade e, portanto, os desempenhos reguladores de suas células.

Dessas análises, Atlan (1992) propõe uma teoria da organização, definida por uma dinâmica com base na variação da quantidade de informação no tempo. Nessa dinâmica, o grau de organização é definido não por um ponto numa reta, mas por três parâmetros: dois que exprimem um compromisso entre a redundância, a variedade, a ordem repetitiva e a ordem por improbabilidade, representando as duas maneiras intuitivas e opostas de conceber um objeto organizado; o terceiro é o parâmetro de confiabilidade, que exprime uma espécie de inércia do sistema em relação às perturbações.

A repercussão dos efeitos desses parâmetros tanto pode ser positiva como negativa, dependendo do nível hierárquico em que o sistema se enquadra. A descoberta da redundância em diferentes níveis da organização dos sistemas vivos pode fornecer apoio experimental. Por exemplo, o sistema imunológico é composto de uma rede celular em que os linfócitos são ligados entre si e com os antígenos que constituem seus estímulos externos por mecanismos de reconhecimento molecular ao nível das membranas. O sistema imunológico é um sistema de aprendizagem não dirigido, cujo desenvolvimento é condicionado pela história dos contatos com diferentes antígenos. O reconhecimento dos antígenos pelos linfócitos é o resultado, no nível molecular e celular, de uma seleção de linfócitos preexistentes, com suas estruturas membranosas adequadas, cuja multiplicação é desencadeada pelo contato com determinado antígeno. Por isso, a possibilidade de uma variedade praticamente infinita e imprevisível de reações imunológicas, a partir de um número finito de linfócitos determinados, implica a cooperação de diversos níveis diferentes de reconhecimento. A redundância inicial, nessa cooperação, transmissão de informação entre diferentes níveis da rede celular, que constitui o sistema imunológico, talvez permita explicar o desenvolvimento com aumento de diversidade e de especificidade.

A abordagem de Atlan destaca a importância dos mecanismos de captação, transporte e distribuição da informação para o processo de evolução dos sistemas.

2.4.4.4 Abordagem de Beer

Beer (1972) discute a evolução dos sistemas a partir de uma analogia entre a empresa e o corpo humano. O corpo humano é composto de coluna vertebral, sistema nervoso, cérebro etc. Para o organismo sobreviver, o sistema nervoso precisa processar as informações e regular o enorme número de variáveis. O autor denomina esse sistema de *neurocibernético*, pois é dirigido por fluxos de informação e comunicação que os une dentro de um empreendimento. A informação circula pelos vários canais, indicando como a organização global e suas partes diferentes trabalham para alcançar objetivos comuns. Dessa forma, Beer estabelece que um sistema viável possui propriedades de auto-organização, autoconsciência, ocorrência e manutenção da identidade. Para o autor, os princípios e a estrutura de trabalho do sistema nervoso humano podem ser aplicados a todos os tipos de organizações para demonstrar a adaptação, a aprendizagem, a regulação e o desenvolvimento do sistema.

O objetivo central do autor é entender o controle do sistema e o conceito de variedade. As organizações existem em ambientes muito complexos e, para serem controladas, é necessário usar a variedade para controlar a própria variedade. Isso é denominado *lei da variedade requerida*. A variedade de uma unidade de controle deve estar, pelo menos, igual à variedade do sistema governado. Devido à quantidade de informação, é necessário um codificador que funcione como um tradutor em um processo de comunicação que cruza vários limites do sistema.

A partir desses conceitos, Beer formulou quatro princípios os quais todas as organizações viáveis devem seguir. O **primeiro princípio** da organização trata da variedade existente num sistema, observando o custo gerado por ela. O **segundo princípio** trata dos canais que difundem a informação entre as unidades organizacionais e o ambiente. O **terceiro princípio** trata da codificação que deve possuir uma variedade semelhante à do canal de comunicação. O **quarto princípio** é a operacionalização dos três primeiros princípios com periodicidade no tempo.

Beer (1972) estabelece que as organizações viáveis devem ser incluídas em cinco níveis hierárquicos de evolução. O **sistema um**, composto das unidades que são controladas. Na empresa, é representado pelos departamentos. Nesse nível, incluindo-se a atividade administrativa, as operações que constituem o sistema total, o ambiente no qual a organização está inserida, as interações entre canais, variedade e entidades. O **sistema dois** coordena, harmoniosamente, as partes do sistema um, incluindo a necessidade do sistema de informação

para a tomada de decisão descentralizada em redes de informação e contato. O **sistema três** é denominado “aqui e agora”. São os componentes funcionais de uma empresa (contabilidade e pessoal, por exemplo). Suas tarefas principais são: manter a conexão interna da sua infraestrutura e a configuração exata do sistema um, interpretar as decisões da administração hierárquica mais alta e alocar os recursos às partes do sistema um. O **sistema quatro** é representado pela mudança. Ele acelera o desenvolvimento externo, administra contatos externos, desenvolvendo e planejando projetos futuros. O **sistema cinco** monitora as operações que equilibram os sistemas três e quatro. Trata-se de um meta-nível, responsável pelas principais políticas da empresa e pelos investimentos em infra-estrutura.

O autor argumenta que qualquer sistema viável contém e é contido por outros sistemas viáveis. Logo, para estudar esse fenômeno é necessário considerar a organização, o foco do estudo, o ambiente e as interações da organização com o ambiente.

Na seqüência, na próxima seção, apresenta-se o sumário das abordagens discutidas.

2.4.4.5 Sumário das Abordagens

Para facilitar a compreensão e diferenciação entre as diversas abordagens sobre a evolução dos sistemas, apresenta-se, no Quadro 7, um resumo delas.

Das abordagens apresentadas nas últimas quatro seções sobre a evolução dos sistemas e sumarizadas no quadro 7, pode-se notar que existem quatro tipos básicos de abordagens. Elas são utilizadas para distinguir os diferentes propósitos que norteiam as argumentações dos autores. Percebe-se que estes são motivados por demandas variadas, mas apresentam como característica comum a busca pela compreensão dos mecanismos que levam um sistema complexo a evoluir.

Os autores sedimentam suas abordagens na Biologia, na Ciência dos Sistemas e na Teoria da Informação e constroem suas argumentações baseados em conceitos derivados dessas áreas. Em cada abordagem, existe a tentativa de explicar como e por que os sistemas evoluem, questões que nem sempre ficam claras.

No grupo das abordagens qualitativas, pode-se notar a preocupação em determinar o tamanho físico dos sistemas que conseguem mudar de um determinado nível de complexidade para outro, sendo utilizadas técnicas matemáticas para mensurá-los.

No grupo das abordagens quantitativas, pode-se destacar a de Turchin (1977), que introduz o conceito de metassistema de transição (MST). Este aborda a integração e o controle dos sistemas associando-os aos mecanismos de evolução: o processo de tentativa e erro, a aptidão do sistema, o processo variação-seleção e a co-evolução. Maynard e Szathmáry (1999) seguem a mesma lógica de Turchin, tratando das transições evolucionárias dos sistemas biológicos. Eles se concentram nas formas intermediárias que guiam a evolução de um sistema e nos mecanismos de replicação dos genes, analisando, em especial, o desempenho dos replicadores egoístas. Dawkins (1986) analisa o processo de evolução cultural em analogia ao processo de evolução biológica. Ele mostra que os padrões culturais são transmitidos de indivíduo para indivíduo pela menor unidade de cultura, *memes*, como acontece na evolução biológica em que os genes são transmitidos de geração a geração. Seu objetivo é compreender como a cultura evolui no tempo.

No grupo das abordagens estruturais, destacam-se três pesquisadores Boulding (1956), Simon (1969) e de Heylighen (1991) pela influência que exercem nos demais pesquisadores, que estudam a evolução dos sistemas complexos. O primeiro criou uma escala de níveis de complexidade que englobam sistemas pertencentes a diferentes campos científicos. Apesar disso, apresentam em comum características que os identificam como pertencentes a um determinado nível de complexidade. O segundo desenvolveu os conceitos de estruturas hierárquicas que facilitam a evolução do sistema, de níveis quase decomponíveis, pois os sistemas complexos não podem ser totalmente decompostos sem que sejam destruídos. O terceiro discute a imprevisibilidade no comportamento dos sistemas que aumenta à proporção que existem escolhas possíveis em função do aumento na variedade. O alto grau de autonomia e a imprevisibilidade introduzem um novo potencial para a complexidade.

No grupo das abordagens funcionais, a preocupação está em compreender como as informações são processadas e controladas para o funcionamento do sistema. Dos representantes desse grupo, Stewart (2000) apresenta o mecanismo da cooperação como uma forma inteligente de evoluir e se adaptar ao ambiente, destacando a questão dos replicadores egoístas, que, mesmo com um propósito individualista e competitivo, apresentam um resultado global cooperativo. Gell-Mann (1996) está preocupado com a adaptação do sistema no decorrer do processo evolutivo. Ele ressalta que a evolução não é uniforme nem previsível e pode apresentar crescimento ou redução na passagem de um nível para outro. Os demais autores desse grupo seguem a mesma lógica, mas com objetivos diferentes.

Abordagens para a evolução dos sistemas				
Abordagens	Autores	Área	Objetivos	Características
Quantitativa	Pettersson (1996)	Não cita	Estudar os níveis intermediários de evolução.	(1) Tamanho de cada nível; (2) Cria regras para reger cada nível; (3) Níveis integrativos; (4) Transições de níveis.
	Coren (1998)	Não cita	Estudar a aceleração das transições evolucionárias.	(1) Transições de níveis; (2) Crescimento da informação; (3) Modelar cada nível de acordo com sua quantidade numérica.
	Klir (1985)	Matemática	Criar uma ordem hierárquica capaz de facilitar a resolução e o controle dos problemas relacionados aos sistemas.	Analisa: (1) Investigador e o seu ambiente; (2) O objeto investigado e o seu ambiente; (3) A interação entre o investigador e o objeto investigado.
Qualitativa	Turchin (1977)	Cibernética	Estudar os metassistemas de transição (MST).	(1) Integração e controle dos sistemas; (2) Processo de tentativa e erro; (3) A aptidão do sistema; (3) O processo variação-seleção; (4) Co-evolução; (5) Cooperação e competitividade.
	Maynard e Szathmáry (1999)	Biologia	Estudo das transições evolucionárias.	(1) Diferenças entre uma transição e outra; (2) Formas intermediárias de evolução; (3) Cooperação, competição e desertores.
	Dawkins (1986)	Evolução Biológica e Cultural	Estudo da evolução da cultura, memes.	(1) Fecundidade, longevidade e fidelidade na replicação. (2) Diversidade de elementos; (3) Herança ou replicação.
	Kelly e Allison (1998)	Empresas	Usa as ciências da complexidade como vantagem competitiva na gestão de organizações empresariais.	(1) Níveis de aptidão; (2) Tratam os problemas como um sistema formado por partes em conexão; (3) Auto-organização como forma de evolução do sistema.
Estrutural	Simon (1969)	Sistemas Artificiais	Estudo da estrutura em níveis hierárquicos dos sistemas	(1) <i>Holons</i> ; (2) Quase decomponibilidade; (3) Interações entre subsistemas.
	Boulding (1956)	Ciência dos Sistemas	Criar uma hierarquia para a complexidade que agrupa sistemas de vários campos.	(1) Sistemas de áreas diversas que apresentam características similares; (2) Propriedades emergentes; (3) Nível de complexidade que comporta sistemas de diferentes campos.
	Le Moigne (1977)	Ciência dos Sistemas	Identificar o nível de evolução dos sistemas, as propriedades emergentes em cada nível e modelá-los de acordo com grau de complexidade.	(1) Articulação do sistema; (2) Identificação das operações, decisões e informações dos sistemas; (3) Decomposição de sistemas em subsistemas.
	Heylighen	Física e	Elaborar uma distinção fundamental	(1) Preocupação com os processos: variação, seleção e reprodução; (2)

Quadro 7: Principais abordagens sobre a evolução dos sistemas complexos (Continua...)

	(1991)	Sistemas Biológicos	entre sistemas em diferentes níveis hierárquicos.	Autonomia e imprevisibilidade do sistema; (3) Identificação da racionalidade, da aprendizagem, da capacidade sensorial do sistema e da capacidade de adaptação do sistema.
	Villegas (2001)	Modelagem de Sistemas	Compreender a evolução dos sistemas complexos e utilizar esse conhecimento para a modelagem de sistemas complexos.	(1) Capturar as características básicas do sistema em relação às fontes de complexidade e imprevisibilidade que emergem do seu comportamento; (2) Diferenciar os sistemas inanimados dos vivos, com capacidade de autoconsciência ou não.
	Daft (2002)	Empresas	Verificar como os sistemas são englobados por outros.	(1) Sistemas formados de subsistemas; (2) Ver a interferência de um sistema de outro; (3) Seleção do nível - foco da análise
	Miller (1990)	Psicologia, Biologia e Teoria Geral dos Sistemas.	Identificar processos comuns que são essenciais à manutenção de todos os sistemas vivos.	(1) Os níveis mais altos englobam os mais baixos e formam um supra-sistema; (2) Cada nível é constituído de uma estrutura individual e de processos próprios; (3) Preocupação com o espaço físico e conceitual ocupado pelo sistema; (4) Alia sistemas vivos a artefatos.
	Checkland (1981)	Ciência dos Sistemas	Desenvolver hierarquia para os sistemas naturais.	(1) Sistemas são relacionados entre si, num mapa global; (2) Destaca a importância dos sistemas humanos; (3) Aplicação de metodologias adequadas ao tipo de sistema.
Funcional	Stewart (2000)	Biologia	Mostrar que a evolução dos sistemas é progressiva e produz sistemas mais complexos e adaptativos.	(1) Evolução cooperativa; (2) Emergência de altos níveis de controle no processamento da informação; (3) Integração de sistemas; (4) Sistemas gerentes.
	Gell-Mann (1996)	Biologia	Compreender como as espécies biológicas se adaptam.	(1) Equilíbrio interrompido; (2) Agregação de sistemas; (3) Emergências de propriedades; (3) Evolução ocorre em etapas; (4) Sistema possui regularidades; (5) Aptidão, diversidade, pressões seletivas.
	Atlan (1992)	Matemática, Biologia e Teoria da Informação	Compreender que um nível é integrado por outro, numa escala crescente de complexidade.	(1) Compreensão da informação, entropia, ruído e redundância; (2) Incorpora o observador no sistema.
	Beer (1972)	Biologia e Empresas	Desenvolver um sistema viável para avaliar o nível de complexidade das empresas, baseado nas propriedades do corpo humano. Ele busca compreender o controle e a variedade existente no sistema.	(1) Sistema dirigido por um fluxo de informação e comunicação; (2) Processa as informações e regular o enorme número de variáveis; (3) Possui propriedades de auto-organização, autoconsciência, ocorrência e manutenção da identidade; (4) Demonstra a adaptação, a aprendizagem, a regulação e o desenvolvimento do sistema. (5) Possui interações, variedade e codificação.

Quadro 7: Principais abordagens sobre a evolução dos sistemas complexos (...Conclusão.)

Nota-se que as abordagens relativas à evolução dos sistemas complexos, apesar de concordarem que a complexidade evolui em níveis, que os sistemas possuem estruturas e que os níveis são hierárquicos, apresentam objetivos diferentes de acordo com a área que está sendo investigada. Em outras palavras, não há unanimidade na resposta a como e por que a complexidade evolui. O que existem são abordagens direcionadas a campos específicos, momentos particulares e propósitos diferentes de investigação. Isso, contudo, não representa um aspecto negativo; a diversidade de visões e aplicações enriquece as análises da evolução dos sistemas e abre oportunidades a novas contribuições e intervenções.

Observa-se também, que o sistema complexo não, necessariamente, evolui para um nível mais alto de evolução em complexidade; dependendo dos mecanismos utilizados para tal propósito, a mudança de um nível para outro pode gerar uma diminuição no nível de complexidade do sistema, podendo ser um dos fatores que contribui para a levar a sua extinção. Logo é indispensável estar atento às intervenções que norteiam o sistema em direção à mudança de níveis e à conseqüente evolução da complexidade.

2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Para utilizar o termo “complexidade,”na modelagem de sistemas complexos, é essencial compreender sua abrangência e suas interfaces.

Neste Capítulo, buscou-se conhecer e discutir diversas abordagens do termo e associá-lo ao conceito de sistema. O objetivo foi resgatar, desde a origem da palavra “complexo” até o desenvolvimento de teorias que apresentam, em comum, o fato de possuírem como objeto de estudo a complexidade dos fenômenos.

Discutiram-se as diferentes aplicações do termo complexidade e as diferenças entre os sistemas complexos e complicados. Na seqüência, levantaram-se as abordagens que são apropriadas à intervenção nos sistemas complexos e as intervenções que são apropriadas aos sistemas complicados. A partir dessa compreensão, apresentaram-se as teorias desenvolvidas para tratar os sistemas complexos, os quais são imprevisíveis e dinâmicos. As teorias apresentam semelhanças e diferenças, cada uma das quais, foi desenvolvida com um propósito particular, sendo, por isso, apropriadas a sistemas com características diferentes. A

evolução dos sistemas, em níveis hierárquicos de complexidade, é tratada com foco nas propriedades emergentes que diferenciam um sistema do outro.

O foco deste trabalho é o desenvolvimento de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos sociais, assunto sobre o qual as discussões ainda são poucas e recentes no meio acadêmico. Na verdade, ferramentas, modelagens, metodologias criadas para representar fenômenos complexos são escassas; quando são desenvolvidas, têm o objetivo de atender a campos e propósitos particulares da ciência.

A modelagem de sistemas complexos envolve desde o conhecimento do termo complexidade, passando pela compreensão e abrangência do conceito de sistema, até o conhecimento dos mecanismos utilizados pelo sistema na sua evolução.

Esse é um campo muito abrangente, por isso não se tem o propósito de esgotar o tema; apesar de pouco explorado, no âmbito da sua aplicação em sistemas organizacionais, muito vem sendo escrito e discutido no âmbito teórico da construção das Ciências da Complexidade. A literatura pesquisada mostra que muitos esforços têm sido feitos, no sentido de criar uma estrutura conceitual de referência para tratar os sistemas complexos, porém, para que a estrutura conceitual de referência seja efetiva, é preciso que sejam implementadas modelagens que direcionem a aplicação dos conceitos.

Com esse propósito, buscaram-se, na literatura sobre esse assunto, ferramentas que pudessem ser empregadas na modelagem de um sistema complexo, considerando suas propriedades emergentes, suas interações e seu nível de evolução. O Capítulo seguinte discute esses temas.

CAPÍTULO 3: MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS

Como discutido no Capítulo 2, o principal problema deste trabalho centra-se na modelagem de um sistema complexo social. Neste Capítulo, apresenta-se, inicialmente, uma discussão sobre o conceito de modelagem. Na seqüência, abordam-se o paradigma reducionista e o paradigma sistêmico. Após, expõe-se a noção de sistema como a base para a construção de uma modelagem adequada a sistemas complexos, mostrando e discutindo alguns tipos mais comuns, de auto-organizações assumidas pelos sistemas complexos. Por fim, apresentam-se e analisam-se algumas ferramentas que podem representar os sistemas complexos.

3.1 O TERMO MODELAGEM

Para discutir a modelagem de sistemas, inicia-se por uma distinção que associa a maneira de perceber os fenômenos ao modo de pensamento que predomina em cada indivíduo, na observação de um determinado fenômeno, num momento específico do tempo.

Gell-Mann (1996) apresenta a distinção, introduzida pelo filósofo Von Schelling e difundida por Nietzsche, entre os “apolíneos”, que favorecem a lógica, a abordagem analítica e a avaliação desapaixonada das evidências, e os “dionisíacos”, mais inclinados à intuição, à síntese e à paixão. Essas características são, algumas vezes, descritas como correspondentes aos indivíduos que enfatizam o uso do lado esquerdo e direito do cérebro, respectivamente. Gell-Mann pressupõe que existe um grupo de indivíduos que pertence a uma terceira categoria, diferente das duas primeiras: são os “odisseianos”, que combinam o pensamento “apolíneo” com o pensamento “dionisíaco”, na busca por relações entre as idéias.

Indivíduos com características “odisseianas” tendem a ver o mundo de modo sistêmico, com dificuldade de aceitar as idéias reducionistas que, geralmente, norteiam as representações dos fenômenos. A esse respeito, Maturana e Varela (2001) discutem a validade do representacionismo, teoria segundo a qual o cérebro recebe passivamente informações vindas, já prontas, de fora. O foco dessa teoria centra-se no modelo mental fragmentador, o que traduz a separação entre sujeito-objeto, representado, portanto, de forma reduzida e desintegrada do contexto.

Em contraponto à teoria representacionista, Maturana e Varela (2001) argumentam que os indivíduos constroem o mundo em que vivem no decorrer de sua trajetória de vida, ao mesmo tempo em que são transformados pelas interações com o mundo exterior. Os seres vivos são autônomos, por isso, não podem se limitar a receber passivamente informações e comandos vindos de fora. A autonomia é uma característica do ser vivo isolado, sem interação com o meio. Portanto, quando ele é observado em interação com o ambiente, é evidente a sua dependência dos recursos externos para sobreviver.

Nesse sentido, autonomia e dependência deixam de ser conceitos opostos e passam a ser complementares. Dessa relação, nasce a percepção de mundo de cada indivíduo. Este observa a si mesmo e o meio, de acordo com o conhecimento e a experiência que possui. A partir disso, ajusta-se internamente para se adaptar às perturbações do ambiente exterior. Quanto mais aptos estiverem os seres para perceber e resistir às perturbações externas, mais estáveis eles serão internamente, conseqüentemente, mais adaptáveis. A esse respeito, Heylighen, Joslyn e Turchin (1995) abordam que diferentes sistemas possuem diferentes competências para acessar e utilizar energia e recursos do ambiente. Quanto mais mecanismos possuírem, conhecerem e acessarem para captar esses recursos, mais capacidade terão para reagir positivamente e se ajustarem às mudanças do ambiente, de modo eficaz.

Pode-se dizer que a representação dos objetos pelos indivíduos está diretamente ligada ao modo como cada um percebe o mundo e interage com ele. Heylighen (1988) destaca que a representação do mundo é, em grande parte, feita em função do paradigma dominante em cada época. O autor exemplifica esse fato, mostrando que o surgimento da Física, de Newton, norteou o paradigma mecanicista, o qual influenciou muitas outras ciências. Os objetos da Física são modelados como partículas, e estas como sistemas elementares, sem estrutura interna e obedecendo às imutáveis leis externas do movimento.

Heylighen (1988) argumenta que, mesmo quando um físico considera um planeta sob o ponto de vista do paradigma mecanicista, ele vê o planeta como uma estrutura rígida, um objeto esférico que se move em volta do Sol, numa trajetória determinada, exclusivamente por uma massa global. Ignoram-se todos os sistemas químicos, biológicos, psicológicos e culturais, que podem ter se desenvolvido no planeta. Mas os físicos são conscientes de que negligenciam muitos fenômenos importantes quando modelam um planeta como se fosse uma partícula. Os mais tradicionais se mantêm reducionistas: eles acreditam que todos os comportamentos de todos os sistemas complexos, na superfície de um planeta, sejam de qualquer tipo, podem ser compreendidos por meio dos mecanismos das partículas elementares, através das quais são constituídos.

Por outro lado, Morin (1977) adverte sobre as várias dimensões que assume cada fenômeno. Como exemplo, cita a concepção de homem que ora pode ser visto como individual, ora social, ora biológico. Logo, para modelar um fenômeno de forma que represente a realidade, é preciso considerar as várias dimensões que o compõem. Em geral, é muito difícil representar todas as dimensões que constituem um fenômeno num único modelo. Por isso, podem-se considerar, apenas, algumas de suas dimensões, desde que se tenha consciência de que o fenômeno possui outras dimensões que não são contempladas no modelo.

Para Le Moigne (1977), modelar é conceber, para um objeto, um modelo que permita conhecê-lo, compreendê-lo, interpretá-lo e auxiliá-lo na antecipação do comportamento dele. Na visão do autor, o observador é um sujeito ativo que procede a uma descrição comunicável do que percebe e do que concebe. Burke (2000) ressalta que a complexidade de um sistema está relacionada ao seu observador. A modelagem é representada pela dimensão que assume o esquema usado pelo observador para descrever o sistema. Para Morin (2001), as visões do mundo são as traduções do mundo. Interpreta-se a realidade em representações, noções, idéias e, depois, em teorias. Para Villegas (2001), um modelo é, em geral, uma representação de um objeto (numa posição realística) ou a representação de uma idéia (numa posição idealista) que o sujeito cria de um determinado fenômeno. Colella, Klopfer e Resnick (2001) argumentam que as maneiras de se perceber o mundo são profundamente influenciadas pelas ferramentas que estão disponíveis e são utilizadas. Nesse sentido, Gattaz (2001) lembra que a percepção do mundo não pode ser dissociada das experiências do sujeito que a descreve, pois é a experiência individual, na absorção das demais interpretações, que o conduz à construção da realidade. Nero (2001) destaca que a modelagem é um processo de conversão da percepção da realidade em representação. A noção de modelagem mostra que o observador abstrai propriedades das coisas do mundo real para obter uma representação do mundo físico, a qual deve ser capaz de tratar a complexidade inerente a esse mundo físico. Por fim, Le Moigne (1977,p.44) lembra que “há vinte e seis séculos, Lao-Tseu já ensinava que o caminho que adotamos não é o único caminho”.

Nota-se que o conceito de modelagem está diretamente ligado à percepção que o observador possui do mundo e, por consequência, do objeto que ele deseja representar. Por sua vez, o modo de perceber o mundo está relacionado ao paradigma que norteia determinado período de tempo. Por isso, segundo Le Moigne (1977), existem dois grandes grupos de modelagem: a modelagem analítica, com base no paradigma cartesiano, e a modelagem sistêmica, com base na complexidade. A primeira segue a lógica da disjunção entre o objeto e

o sujeito, objetivos da qual é controlar, eliminar a complexidade, dividir o objeto em partes, isolando-o do seu contexto. A segunda segue a lógica da associação entre objeto e sujeito, objetivos da qual é articular, encontrar a complexidade e aproveitar a riqueza da diversidade, considerando o objeto como um sistema em interação com seu contexto.

Assim, não se deve classificar as modelagens e os paradigmas como melhores ou piores. O que se pode assumir é que determinadas modelagens são mais apropriadas para as características e objetivos de determinadas situações, além de estabelecer as limitações da modelagem adotada.

Nesse ambiente, Kuhn (1978) destaca que, geralmente, a emergência de um novo paradigma traz uma nova concepção do universo e do conhecimento. A passagem do paradigma cartesiano ao paradigma sistêmico buscou analisar ou resolver fenômenos considerados complexos. A complexidade existente nesses fenômenos é, principalmente, atribuída ao desafio de melhor compreender a participação do homem no seu contexto.

Na seqüência, apresentam-se os principais paradigmas que nortearam determinadas épocas, interferindo na percepção do mundo, por conseguinte, nos tipos de modelagens dos objetos.

3.2 PARADIGMAS DA CIÊNCIA

Paradigma é definido como um esquema global composto de algumas hipóteses de base, sobre as quais cada época científica conduzem orientações de investigação (KUHN, 1978). De acordo com o paradigma dominante, as teorias e os modelos são desenvolvidos (STEINBRUNER, 1974). Koestler (1960) destaca os filósofos jônicos, Aristóteles, Platão, Copérnico, Kepler, Galileu e Newton como exemplos de criadores de novos paradigmas, os quais romperam de modo brusco com as longas estabilidades do pensamento humano.

3.2.1 PARADIGMA REDUCIONISTA

Para apresentar os fundamentos do paradigma reducionista, resgatam-se as condições que propiciaram o seu estabelecimento, além de mostrar que este fundamentou os preceitos das ciências clássica e moderna.

3.2.1.1 Ciência Clássica

A lógica de funcionamento da ciência clássica nasceu no mundo grego antigo, o objetivo da qual era a busca da simplificação dos fenômenos e a descrição completa da natureza por meio de leis simples. Essa lógica diz respeito aos conceitos, proposições, inferências, julgamentos e raciocínios simplificadores, fundamentos que foram propostos no *Organon*⁶, de Aristóteles (PRIGOGINE e STENGERS,1997).

A ciência clássica se fundamenta em quatro princípios: o princípio da ordem, o princípio da separabilidade, o princípio da redução e o princípio da lógica indutivo-dedutivo-identitária, os quais funcionam num ambiente de certeza e busca pela simplificação da complexidade existente nos fenômenos (MORIN, 2001).

O *princípio da ordem* postula que o universo é regido por leis imutáveis, visão do qual, nasce a concepção determinista e mecânica do mundo. Assim, toda desordem considera-se como carência de conhecimento, para torná-la ordem.

O *princípio da separabilidade* segue a lógica de que, para resolver um problema, é preciso decompô-lo em elementos simples.

O *princípio da redução* se alicerça na idéia de que o conhecimento dos elementos de base do mundo físico e biológico é indispensável, enquanto o conhecimento do conjunto de processos, mudanças e diversidade é secundário. Esse princípio tende a reduzir o conhecível àquilo que é mensurável, quantificável, formalizável, seguindo os preceitos de Galileu, que só considerava os fenômenos que podiam ser descritos por meio de quantidades mensuráveis (GLEICK, 1990).

O princípio da lógica *indutivo-dedutivo-identitária* está associado à razão. A indução, a dedução e os três axiomas de Aristóteles (identidade, contradição, exclusão) asseguram a validade formal das teorias e raciocínios.

Morin (1977,2001) destaca que os quatro princípios são interdependentes e reforçam-se mutuamente. Disjunção e redução eliminam o que não é redutível à ordem, às leis gerais, às unidades elementares. Esses princípios ocultam a constante presença da desordem no mundo e o problema da organização. A conjunção dos quatro princípios, portanto, determina o pensamento simplificador, submetido à hegemonia da disjunção, da redução e do cálculo.

⁶*Organon* é a denominação dada por Aristóteles à lógica que, para ele, significava um instrumento de conhecimento e não o juiz do conhecimento.

3.2.1.2 Ciência Moderna

Para Pigliucci (2000), o nascimento da ciência moderna é atribuído a uma grande variedade de circunstâncias, eventos e pessoas, mas é inquestionável a importância de René Descartes, filósofo francês, quem primeiro articulou os fundamentos do moderno método científico de pesquisa.

Pode-se dizer que a maior contribuição da abordagem de Descartes foi a idéia de que os sistemas complexos podem ser compreendidos pela análise de uma de suas partes, no tempo, e, a partir da compreensão dessa parte, atribuir suas conclusões ao sistema como um todo, compreendendo-se o contexto. Com esse objetivo, Descartes, em 1619, formulou quatro preceitos básicos que fundamentam um método universal para conduzir a razão (DESCARTES, 1980).

O primeiro é o da *evidência*: postula que nunca se deve aceitar nada como verdadeiro, se não é possível provar. Em outras palavras, tem-se de evitar cuidadosamente a precipitação e a previsão.

O segundo é o da *redução*: pressupõe a divisão das dificuldades encontradas para a resolução de um problema na máxima quantidade de partes que facilite essa resolução.

O terceiro é o da *causalidade*: estabelece uma ordem hierárquica para facilitar o conhecimento dos objetos. Inicia-se pelos elementos mais simples e mais fáceis de identificar, evoluindo-se para objetos complexos e mais difíceis.

O quarto é o da *exaustividade*: retoma os três primeiros preceitos, perfazendo enumerações tão completas e revisões tão gerais do objeto estudado que se supõe ter o total conhecimento desse objeto.

Os quatro preceitos, instituídos por Descartes, marcam a passagem da ciência clássica para a ciência moderna: a primeira norteada pela filosofia aristotélica; a segunda guiada pelo pensamento cartesiano. Enquanto a Ciência Clássica associava a Ciência à Filosofia, a Ciência Moderna, estabelecida por Descartes, dissocia a Ciência da Filosofia (MORIN, 1991). Assim, apesar de continuar com o objetivo da redução herdada da lógica da ciência clássica, a mudança, estabelecida por Descartes na ciência moderna, conduziu à elaboração de um conhecimento científico com especificações metodológicas, com princípios e regras que fazem desse conhecimento objetivo e universal.

O Quadro 8 apresenta um resumo dos princípios da ciência clássica e dos preceitos da ciência moderna.

Ciência Clássica	Ciência Moderna
Lógica de funcionamento: Simplificação	Lógica de funcionamento: Simplificação
Base da lógica: Filosofia Aristotélica Ciência associada à Filosofia	Base da lógica: Pensamento Cartesiano Ciência dissociada da Filosofia
Princípios Básicos	Preceitos Básicos
1. Princípio da ordem	1. Preceito da evidência
2. Princípio da separabilidade	2. Preceito da redução
3. Princípio da redução	3. Preceito da causalidade
4. Princípio indutivo-dedutivo-identitário	4. Preceito da exaustividade

Quadro 8: Princípios da Ciência Clássica e Preceitos da Ciência Moderna

Observando-se o Quadro 8, nota-se que as lógicas de funcionamento das ciências clássica e moderna são as mesmas, mas com fundamentações diferentes. Enquanto a ciência clássica se embasa na filosofia aristotélica, a ciência moderna se fundamenta no pensamento cartesiano. No caso da ciência clássica, Filosofia e Ciência são associadas para determinar os princípios norteadores. Já a ciência moderna desconsidera as interferências da Filosofia na construção da Ciência.

3.2.1.3 Ramificações do Paradigma Reducionista

O paradigma reducionista é ramificado em dois outros principais paradigmas: o mecânico racional e o mecânico estatístico (LE MOIGNE, 1977).

O paradigma *mecânico racional* tem o propósito de explicar e descrever o objeto investigado. Para elucidá-lo analisa-se a estrutura a qual determina as funções desse objeto. A estrutura é considerada a causa, a condição necessária e suficiente do efeito e da função do objeto. Esse paradigma teve seu apogeu no século XIX e explicava a racionalidade do homem a partir de causas mecânicas. O paradigma *mecânico estatístico* ou paradigma evolucionista marca a passagem de análises micros (realizadas por biólogos e sociólogos) para análises macros - realizadas por físicos, matemáticos e engenheiros (ROSNAY, 1975). A teoria da evolução das espécies e o desenvolvimento da Termodinâmica incorporam a visão dos movimentos dinâmicos e das transformações irreversíveis da estrutura no tempo, em contraponto à visão reversível do paradigma da mecânica racional (LE MOIGNE, 1977). A incorporação do conceito de sistema fechado leva ao objeto fundamental deste paradigma: estudar a estrutura associada à evolução e à seqüência de transformações internas do objeto.

Para Geyer e Rihani (2000), as descobertas feitas por Newton e por Einstein na Física, e outras descobertas em campos como o Magnetismo, a Eletricidade e a Química, todas apoiadas nos preceitos cartesianos, criaram alto grau de confiança no poder da razão

para enfrentar qualquer situação. Isso induziu a crença de muitos cientistas do final do século XIX e início do século XX, de que poucas inovações restariam para serem descobertas. Capra (1996) destaca que os cientistas da época acreditavam que o universo era, de fato, um grande sistema mecânico funcionando de acordo com as leis de Newton, totalmente causal e determinístico.

Observa-se que o *paradigma reducionista* proporcionou muitos progressos para a ciência, mas, apesar do sucesso desse método, cientistas de várias áreas perceberam que os sistemas com muitas interações e propriedades emergentes careciam de um método mais sistêmico para guiá-los. Nessa situação, Capra (1996) argumenta que alguns pesquisadores começaram a observar que as soluções oferecidas pelas equações de Newton restringia-se a fenômenos simples e regulares, enquanto a complexidade de várias áreas pareciam esquivar-se a qualquer modelagem mecanicista.

3.2.1.4 Em busca de um novo Paradigma

A partir dessas constatações, iniciam-se discussões direcionadas ao desenvolvimento de modelagens que contemplem, também, as probabilidades e não somente as certezas, como propunham os preceitos cartesianos. Geyer e Rihani (2000) ressaltam que cientistas, como Bohr, Heisenberg, Dirac e Einstein, os quais observaram a necessidade de um paradigma sistêmico, não apontaram os preceitos cartesianos como errados, apenas demonstraram que alguns fenômenos, na Física e em outros campos, são probabilísticos. Ackoff (1974) lembra que a revolução sistêmica não é uma negação dos paradigmas que o antecederam, é uma superação.

Nesse sentido, Foster, Kay e Roe (2001) destacam que as descobertas ocorridas durante o século XX questionaram os preceitos da ciência reducionista. Como exemplo, cita a Física Subatômica e a Mecânica Quântica, as quais demonstram ser a previsibilidade e o perfeito conhecimento inatingíveis. Em níveis macroscópicos, investigações em Ecologia e Cibernética, por exemplo, também revelaram as limitações do tratamento dos sistemas complexos com o paradigma reducionista. Na mesma linha de argumentação, Heylighen (1988) evidencia que, apesar do objetivo da Física ser tanto formular quanto pesquisar as mais completas descrições possíveis dos fenômenos mais elementares, a trajetória de evolução, primeiro com a Mecânica Quântica, seguida pelas teorias dos campos quânticos, e por fim

com as teorias das partículas elementares, mostram que a pesquisa leva a modelos muito mais complexos, operando em ambientes incertos.

Nota-se que, na trajetória de evolução dos fenômenos, sejam eles físicos, químicos, biológicos ou sociais, aparecem comportamentos que não podem ser modelados, unicamente, pelos preceitos reducionistas, sendo preciso outros modos de intervenção que considerem a incerteza, a imprevisibilidade e a complexidade exibidas por tais fenômenos.

Na busca por um paradigma unificador não-reducionista, manifestaram-se, entre os anos 1950 e 1970, duas abordagens: uma européia e outra norte-americana. A primeira instituiu o paradigma estruturalista; a abordagem segunda, o paradigma cibernético (LE MOIGNE, 1977).

O paradigma *estruturalista* propõe um procedimento global para descrever o objeto investigado em sua totalidade, envolvendo a estrutura, a evolução e a função dele. O paradigma *cibernético* propõe uma inversão na intervenção dos objetos, ao invés de centrar a atenção nos mecanismos e nas estruturas. Pelo contrário, recomenda ignorá-los, fechando-os numa caixa preta, privilegiando a interpretação dos comportamentos e das interfaces do objeto no ambiente percebido.

Na Biologia, Bertalanffy (1968) se contrapõe aos paradigmas reducionista e estruturalista, argumentando que os organismos biológicos não podem ser reduzidos a um amontoado de pequenos corpos sólidos, já que são sistemas abertos e, por isso, precisam interagir com o ambiente para sobreviver. Dessa constatação, Bertalanffy discute a necessidade da passagem do paradigma reducionista ao paradigma sistêmico.

Para Morin (2001), existiu uma crise da simplificação que foi marcada por duas revoluções. A primeira ocorreu na Física, no início do século XX, a qual operou uma crise na ordem, na separabilidade, na redução e na lógica. A segunda se manifestou pela emergência das ciências dos sistemas e da percepção das interações, que afetaram a base da separabilidade e da redução.

Dessa forma, Le Moigne (1977) argumenta que, para encontrar outros métodos que possam intervir em sistemas complexos, as investigações seguem na busca de um contrário complementar para os preceitos cartesianos.

Na seqüência, na próxima seção, apresentam-se o paradigma sistêmico, seus fundamentos e sua aplicabilidade.

3.2.2 PARADIGMA SISTÊMICO

Entre os anos de 1940 a 1970, algumas teorias, fundamentadas no paradigma sistêmico, foram desenvolvidas. Dentre elas, destacam-se: o desenvolvimento da *General System Theory*, por Bertalanffy; a Teoria Geral do Universo de Monod, “o método” desenvolvido por Morin para tratar os sistemas complexos e a teoria da modelização, instituída por Le Moigne ((BERTALANFFY,1968; MONOD,1970; MORIN,1977; LE MOIGNE, 1977).

Com base nos preceitos cartesianos, Le Moigne (1977) estabeleceu preceitos para um novo método que considerava a complexidade dos fenômenos, os quais devem funcionar como o contrário complementar dos preceitos cartesianos. Sua motivação para esse desenvolvimento foi a idéia de que nenhum método é tão perfeito a ponto de ser universal.

O primeiro preceito é o da **pertinência** como contrário complementar do preceito da evidência de Descartes. O preceito da pertinência reconhece que todo objeto se define em relação aos objetivos implícitos e explícitos do observador. Se os objetivos do observador se modificarem, a percepção do objeto, também, se altera.

O segundo preceito é o do **globalismo** como contrário complementar do preceito reducionista de Descartes. Considera que o objeto investigado é parte ativa de um todo maior. A preocupação centra-se no comportamento funcional do objeto em relação ao ambiente, sem a preocupação de estabelecer uma imagem fiel da sua estrutura interna.

O terceiro preceito é o **teleológico** como contrário complementar do preceito causalista de Descartes. Interpreta o objeto através do comportamento e não pela sua estrutura física, sem o objetivo de explicar esse comportamento em função de alguma lei que rege a estrutura.

O quarto preceito é o da **agregatividade** como contrário complementar do preceito da exaustividade de Descartes. Reconhece que toda representação é influenciada pela visão de mundo do observador e, portanto, podem-se omitir muitos aspectos. Os aspectos considerados são selecionados explicita e publicamente. Não se pretende explicar tudo, mas apenas interpretar o que interessa em determinada situação.

Os quatro preceitos, instituídos por Le Moigne (1977), mostram que o paradigma reducionista não pode modelar todos os fenômenos, pois, ao excluir a complexidade, para dominar os problemas, elimina-se grande parte da riqueza do fenômeno. A proposta do autor é conservar a complexidade. Para isso, é necessário mudar o método intelectual de

intervenção, da redução para a sistemografia. Nesse sentido, Morin (2001) destaca que o pensamento complexo não pode nem quer elaborar um sistema de inteligibilidade universal, pois ele é dialógico, aberto, admite a incerteza e, ao mesmo tempo, emprega a idéia de sistema para compreender como o fenômeno se organiza.

Comparativamente, apresenta-se, no Quadro 9, um resumo contendo os quatro preceitos cartesianos, instituídos por Descartes, e os quatro preceitos sistêmicos, instituídos por Le Moigne.

Nota-se, observando o Quadro 9, que os preceitos cartesianos se opõem aos preceitos sistêmicos quanto aos objetivos a que cada lógica segue. Enquanto a lógica cartesiana visa excluir a complexidade para dominar os fenômenos, a lógica sistêmica objetiva identificar a complexidade dos fenômenos para criar estratégias apropriadas de intervenção no comportamento deles.

Preceitos Cartesianos	Preceitos Sistêmicos
Evidência: a verdade é única e só existe se puder ser provada.	Pertinência: a percepção do objeto está diretamente relacionada à intenção do sujeito.
Reduccionismo: divisão dos problemas nas menores partes possíveis para proceder a sua resolução.	Globalismo: é consciente de que o objeto investigado faz parte de um todo maior, por isso a importância de compreender o funcionamento da parte em relação ao ambiente.
Causalista: institui-se uma hierarquia estrutural para resolução dos problemas, iniciando-se pelas partes mais simples e fáceis e ascendendo para as mais difíceis e complexas.	Teleológico: busca compreender o comportamento do objeto, sem o objetivo de explicá-lo em relação à estrutura física do objeto.
Exaustividade: retoma os três primeiros preceitos e faz uma última análise do objeto, considerando que nada mais existe para ser explorado.	Agregatividade: considera que toda representação é influenciada pela visão de mundo do observador. Por isso, muitos aspectos podem ser omitidos.

Quadro 9: Preceitos Cartesianos e Preceitos Sistêmicos.

Heylighen (1988) argumenta que, para compreender e intervir em sistemas complexos, são necessárias diferentes abordagens. Primeiro, porque não se deve reduzir os sistemas complexos a elementos simples, mas tentar compreender a complexidade como característica global dos fenômenos. Segundo, não se pode pretender encontrar uma representação completa da complexidade, mas ser consciente de que qualquer representação de um sistema complexo é, necessariamente, incompleta e modela uma situação em determinado momento do tempo.

Le Moigne (1977) destaca que os objetos, quando representados com base no paradigma sistêmico, precisam discernir a complicação da complexidade, pois os objetos já não são apenas tecidos por redes complicadas ligando elementos identificáveis, com comportamentos enumeráveis e pouco numerosos. A diferenciação e a variedade são indissociáveis do mundo real e precisam ser consideradas na representação. A esse respeito,

Eijnatten (2003, p.1) argumenta que “os problemas atuais requerem soluções inovadoras, que considerem as características e as complexidades individuais de cada organização.”

Nota-se que o foco norteador do paradigma sistêmico é o conceito de sistema. Os objetos são modelados com base no conceito de sistema, ao invés de serem modelados como partes isoladas, procedimento utilizado pelo paradigma reducionista. A meta passa a ser compreender, ao invés de analisar; evidenciar a complexidade, ao invés de simplificar; integrar, ao invés de isolar; associar, ao invés de dissociar.

3.2.2.1 Sistema: instrumento da modelagem

Como discutido no Capítulo 2, o conceito de sistema é assumido com diferentes interpretações e objetivos. Muitas vezes, são adotadas concepções conjuntistas, as quais não condizem com a idéia sistêmica e organizacional que constitui a essência do termo sistema. Nesta seção, emprega-se o termo “sistema” como instrumento de base para a modelagem, utilizando-se os preceitos do paradigma sistêmico. Nesse sentido, o conceito está associado à idéia de integração, interação, conexão, organização e diversidade, em oposição à base conceitual do paradigma reducionista.

Em 1865, Claude Bernard destacou que, enquanto uma teoria geral de sistemas não fosse universalmente formulada e validada, um sistema deveria ser reconhecido como um produto artificial do espírito dos homens (BERNARD,1943). Essa concepção não impede que o conceito de sistema seja assumido como um objeto particularmente útil e cômodo, não para explicar, mas para representar os objetos que o homem quer conhecer (LE MOIGNE,1977).

Na literatura sobre o estudo dos sistemas, encontra-se uma discussão a respeito das interpretações ambíguas geradas pela introdução da *General System Theory*, desenvolvida por Bertalanffy (1968), a qual iniciou oficialmente o estudo da Ciência dos Sistemas. Pela falta do *s* na grafia da palavra inglesa *System*, surgem duas interpretações para a expressão (*General System Theory*): “Teoria Geral do Sistema” e “Teoria do Sistema Geral“, provocando o aparecimento de duas escolas que se contrapunham. A primeira escola, nos EUA, defende a existência de uma “Teoria Geral” que atenderia à demanda de todos os sistemas (LASZLO,1972). A segunda escola na Europa (França), defende a existência de um “Sistema Geral” que representaria um modelo de natureza geral (KLIR,1969). Apesar de existirem escolas específicas, tanto na França quanto nos EUA, que defendem percepções diferentes

sobre a *General System Theory*, há divergências de opiniões em relação à vertente assumida em cada país.

Com o passar do tempo, percebeu-se que os pesquisadores norte-americanos da escola do Sistema Geral usavam, indiferentemente, a expressão *General System (s) Theory*, tanto no plural como no singular, o que poderia representar, apenas, um erro na grafia, sem maiores problemas de interpretação. Le Moigne (1977) destaca que essa discussão não ganha muita visibilidade no meio acadêmico, mas gera uma certa confusão para a compreensão do significado de sistema, o que pode interferir negativamente no início da investigação de uma determinada situação.

Le Moigne (1977) prefere empregar o termo, “Teoria do Sistema Geral,” no singular, para representar a base da modelagem de um objeto natural, artificial, complicado ou complexo. Seguindo a mesma lógica, Morin (1977, p.131) argumenta que,

Bertalanffy (1968) desenvolveu uma *Teoria Geral dos Sistemas*, que inicia a problemática sistêmica, mas apesar de comportar aspectos inovadores, essa teoria jamais tentou a *Teoria do Sistema Geral*, pois ela se omitiu de aprofundar o seu próprio fundamento, de refletir o conceito de sistema.

Nesse trabalho, emprega-se o termo “ Sistema Geral” em concordância com Le Moigne (1977;1990) e Morin (1977), ressaltando-se que, primeiro, se deve pensar o conceito de sistema e todas as variáveis que ele contém, para depois atribuir a modelagem mais apropriada àquele tipo de sistema identificado.

O termo “sistemografia” foi instituído por Le Moigne (1977) para designar a capacidade do sistema de agir como um instrumento para modelar objetos. A motivação deveu-se à constatação de que os objetos são reconhecidos quando são designados por palavras. Cita, como exemplo, a criação da palavra “constelação”, que permitiu à astronomia primitiva reconhecer combinações estáveis de estrelas e, por isso, progredir rapidamente. Assim, “modelar é conceber, depois desenhar uma imagem à semelhança do objeto” (LE MOIGNE,1977,p.92).

Algumas questões podem ser estabelecidas, para entender um determinado objeto: Como conhecê-lo? Como identificá-lo? Como defini-lo? Nesse sentido, Bruter (1974) estabelece que um objeto é um objeto. Trata-se de um postulado que é a própria afirmação de existência. Os matemáticos empregam-no com frequência, denominando-o de asserção: a pronúncia do simples nome de um objeto implica a existência dele, pelo menos no pensamento. A partir do reconhecimento do objeto, a ciência pode evoluir.

Pode-se dizer que a palavra-chave da sistemografia é a *concepção* do modelo e sua representação por meio de signos, em contraponto à palavra-chave do reducionismo, que é a

análise. Por isso, Simon (1969) demonstra preocupação com o desenvolvimento de uma ciência da concepção de modelos e percebe a carência de abordagens que ressaltem a concepção de objetos e não, apenas, sua análise. Essa passagem da análise (reduccionismo) à concepção (sistemografia), representa uma mudança nas finalidades do conhecimento. Na análise, são necessários explicar os componentes do objeto para conhecê-lo. Na concepção, é preciso conhecer e compreender o objeto para interpretá-lo e, assim, antecipar o comportamento dele (LE MOIGNE, 1977).

Além disso, Bruter (1976) estabelece algumas questões a respeito da sistemografia. Ele destaca que a **percepção** é a palavra-chave para representar um objeto ou uma situação. No entanto, a percepção não deve se limitar às formas, aos elementos morfológicos. Os comportamentos, as atividades, as funções do objeto são indispensáveis à representação do objeto. Além disso, o autor ressalta que existe um vínculo profundo entre forma e função que precisa ser considerado na representação do objeto.

Na seqüência discutem-se alguns critérios que devem ser considerados na modelagem de um objeto, usando como instrumento o sistema.

3.2.2.2 Critérios assumidos na modelagem de um objeto

Nesta seção, apresentam-se alguns critérios de comparação (VILLEGAS, 2001) ou de correspondência entre forma e função (LE MOIGNE, 1977) estabelecidos na modelagem de um objeto.

Villegas (2001) destaca a necessidade de utilizar um critério de comparação entre os sistemas, baseado no conceito de equivalência entre modelos, que por sua vez, é relacionado a estrutura física do objeto modelado. A concepção da equivalência tem como base as definições matemáticas de morfismo. O morfismo consiste em verificar se o mesmo conjunto de entradas e saídas importantes para um sistema é observado em outro sistema e se o subconjunto de saídas do sistema exibe certas condições que coincidem com as saídas correspondentes a outro sistema, geralmente nas mesmas condições.

No mesmo sentido Le Moigne (1977) destaca que a sistemografia emprega a correspondência entre a forma e a função, por isso estabelece os conceitos de isomorfismo, homomorfismo e polimorfismo, herdados da Matemática e da Física. Esses conceitos fornecem um importante ponto de referência ao observador que inicia a modelagem de um objeto, tendo como ponto de partida a concepção de sistema.

- **Isomorfismo** é a correspondência bijectiva, na qual, para cada elemento do conjunto de chegada, corresponde um elemento do conjunto de saída. A correspondência é transitiva, reflexiva e simétrica. (LE MOIGNE,1977; BERTALANFFY,1968; BRUTER,1973; MORIN, 1991).
- **Homomorfismo** é a correspondência sobrejectiva, na qual, para cada elemento do conjunto de chegada, corresponde, pelo menos, um elemento do conjunto de saída, sem que o recíproco seja verdadeiro. A correspondência é transitiva, reflexiva, mas não simétrica (LE MOIGNE,1977; SIMON,1969; WU, 1999).
- **Polimorfismo** é a correspondência injectiva, na qual, para cada elemento do conjunto de saída, corresponde, pelo menos, um elemento do conjunto de chegada, sem que a relação recíproca seja verdadeira. A correspondência é de muitos para um (LE MOIGNE,1977; SIMON,1969).

Os três conceitos apresentados são empregados para estabelecer uma correspondência entre o objeto identificado, o conceito de sistema geral e a modelagem utilizada. A representação de um objeto, através de um sistema geral, é denominada sistemografia. O conceito de sistema geral é utilizado como instrumento da modelagem construída pelo observador. Em outras palavras, representa uma “lente” através da qual o observador modela a realidade observada. Por isso, Le Moigne (1977) faz uma analogia do sistema geral com uma fotografia ou radiografia, as quais podem criar imagens diferentes de um mesmo objeto, exibindo características que dependem do aparelho utilizado e da interpretação do observador. O autor destaca que a sistemografia pode ser representada pela Figura 2.

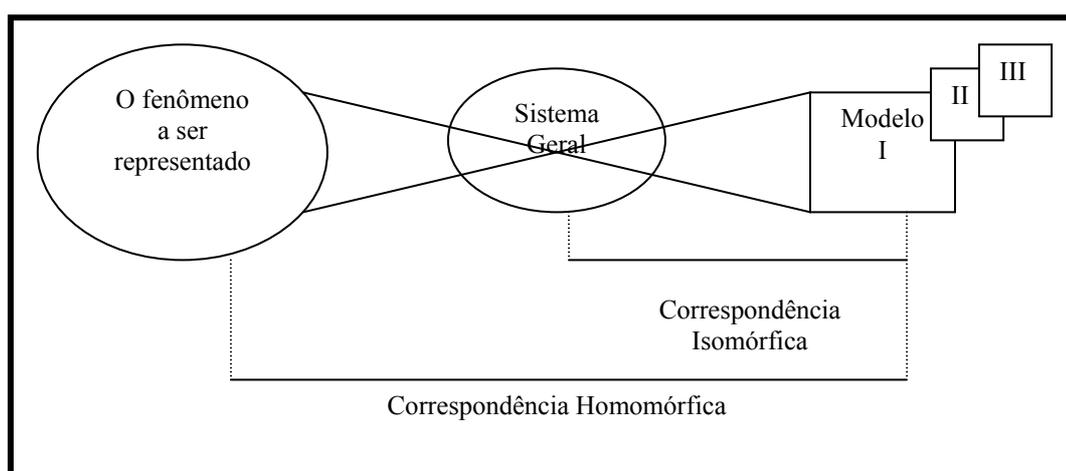


Figura 2: A Sistemografia. **Fonte:** Le Moigne (1977,p. 97) - adaptado

A Figura 2 apresenta a correspondência entre objeto-modelo, que é homomorfa, e o sistema geral-modelo, que é isomorfa. A isomorfia é observada quando as propriedades do modelo estão em perfeita correspondência bijectiva com as propriedades do sistema geral. A

homomorfia é mais difícil de perceber, sua validação completa é impossível, devido à racionalidade limitada do ser humano para compreender todo o contexto em que o sistema geral está inserido. Possibilita a concepção e a construção de sistemografias diferentes do mesmo objeto. Nesse aspecto, Le Moigne (1977) destaca que essa abordagem é oposta à que segue a lógica do paradigma reducionista, pois permite a interferência do observador no objeto modelado, desde que não desconsidere a correspondência isomorfa do sistema geral com o modelo e a correspondência homomorfa do objeto com o modelo.

Na mesma linha de argumentação de Le Moigne, Rosnay (1975) destaca que, para empregar o paradigma sistêmico, são necessárias ferramentas capazes de representar objetos muito grandes, muito pequenos ou muito complexos. Para isso, propõe ferramentas análogas ao microscópio, que amplifica a visão de objetos muito pequenos e ao telescópio, que permite a observação de objetos extremamente grandes, respectivamente. Para cada situação, existe uma ferramenta adequada que pode ser utilizada como uma lente, através da qual se modela o objeto visualizado.

Apesar de empregar o paradigma sistêmico e ter como base da modelagem o sistema geral, a concepção sistêmica dos modelos é, frequentemente, denominada de *análise de sistema*. Isso acontece devido à lógica herdada do paradigma reducionista, o qual ainda vigora fortemente nas formas de modelagens de objetos e situações. Le Moigne (1977,p.98) ressalta que “o objetivo do paradigma sistêmico é conceber e, não, analisar modelos”. Por isso, é importante notar que a expressão “análise de sistema” nem sempre representa o paradigma reducionista. Dependendo do contexto e da interpretação do observador, a expressão pode significar concepção e compreensão de modelos.

Além dos critérios de correspondência entre os sistemas e as ferramentas utilizadas na modelagem de um sistema, outros aspectos são importantes. Na seqüência, discutem-se esses aspectos.

3.2.2.3 Outros aspectos que devem ser considerados na modelagem

Simon (1969) destaca que, para conceber sistemas de representação, é preciso um conjunto de conhecimentos vindos da Psicologia Cognitiva, observando, em particular, as limitações da racionalidade do ser humano. Heylighen (1988) lembra que, para representar a complexidade, é necessário que os sistemas possuam autonomia para identificar as perturbações vindas do ambiente externo e intervir sobre elas. Por isso, requerem inteligência, a qual demanda conhecimentos da Ciência Cognitiva e da Inteligência Artificial. A respeito

dos sistemas autônomos, evidencia-se a Teoria da Autopoiese estabelecida por Maturana e Varela (2001), na qual os sistemas vivos se caracterizam por produzirem, de modo contínuo, a si mesmos. Essa capacidade é atribuída à autonomia inerente aos sistemas vivos, quando são observados isoladamente, sem conexão com o ambiente externo, e da dependência, quando vistos carentes do ambiente externo para sobreviver. Esse processo constrói uma dinâmica circular contínua e complementar.

Foster, Kay e Roe (2001) relacionam a complexidade aos sistemas de pensamento. Eles consideram que um sistema é uma representação de um objeto, que não, necessariamente, precisa ser físico; abstrações e idéias podem, também, ser sistemas. O foco da representação pelos sistemas são as funções, os processos, as estruturas e os inter-relacionamentos dos objetos. Os inter-relacionamentos podem existir dentro e entre os sistemas e o ambiente.

Construir um sistema de representação, portanto, é criar um modelo que represente determinado objeto ou situação. Segundo Mélése (1972, p.79), “ a própria intervenção sobre um sistema deve ser concebida como um sistema”. Ashby (1958) lembra que os objetos podem representar uma infinidade de sistemas igualmente plausíveis, os quais diferem uns dos outros pelas suas propriedades. Morin (1977) destaca que um sistema é um conceito complexo de base, porque não é redutível a unidades elementares, a conceitos simples, a leis gerais. O sistema é uma unidade de complexidade.

Na seção 3.2.2 e subseções, destacou-se o conceito de sistema como instrumento central da modelagem de objetos e situações, que possuem como norteador o paradigma sistêmico. Partiu-se da constatação de que os sistemas complexos não devem ser modelados empregando-se a lógica do paradigma reducionista, pois seus pressupostos são inadequados às características exibidas por eles. Esse fato pode ser verificado observando-se as discussões apresentadas no Capítulo 2. Os sistemas complexos, usualmente, são tratados como se fossem sistemas complicados, fato que inibe a emergência de muitas características que lhes são próprias. Pelo paradigma reducionista, o objetivo é reduzir e analisar os fenômenos, inferindo resultados da parte analisada para o todo. O paradigma sistêmico busca compreender, conceber e modelar os fenômenos o mais próximo possível da realidade, respeitando as características próprias dos fenômenos e o contexto no qual estão inseridos. Nesse sentido, Heylighen (1988) observa a importância de conhecer as diferentes dinâmicas assumidas pelos sistemas complexos para, a partir disto, desenvolver a modelagem mais adequada ao seu funcionamento.

Na seqüência, apresenta-se uma discussão sobre as dinâmicas assumidas pelos sistemas.

3.3 DINÂMICAS ASSUMIDAS PELOS SISTEMAS COMPLEXOS

A dinâmica do sistema complexo está associada a seu processo de evolução, o que pode ser observado retornando ao Capítulo 2, seção 2.3, deste trabalho. Heylighen (1988) destaca, como base da dinâmica de um sistema o processo variação-seleção, em analogia ao processo similar descrito por Darwin no processo de evolução biológica. Heylighen (1988) argumenta que, por um lado, a variação cria, continuamente, novas estruturas para o sistema; por outro, a seleção exclui as estruturas instáveis e retém as estáveis. Nesse sentido, Axelrod e Cohen (1999) observam que a variação e a seleção são indispensáveis ao processo de adaptação dos sistemas complexos.

Heylighen (1988) ressalta a necessidade de estipular um *critério de estabilidade geral*, o qual possibilita predizer se a nova estrutura criada pelo processo variação-seleção sobreviverá. Na busca desse critério, emprega-se o conceito de *fechamento*.

3.3.1 FECHAMENTO DO SISTEMA E A AUTO-ORGANIZAÇÃO

O conceito de fechamento é empregado por Heylighen (1988) como forma de modelagem de um sistema complexo. Essa noção, contudo, está relacionada ao fechamento da organização interna do sistema, nunca à estrutura de captação de recursos externos, pois é essa captação externa que mantém o sistema em equilíbrio dinâmico, condição essencial dos sistemas complexos. O propósito de Heylighen é facilitar a percepção do processo de emergência de novas estruturas estáveis que surgem em diferentes níveis do sistema, além de reconhecer o desenvolvimento da nova organização interna assumida pelo sistema e, assim, ajustar-se à emergência dessas novas estruturas surgidas. Em outras palavras, o conceito claro de fechamento permite uma melhor compreensão do processo de auto-organização do sistema.

A auto-organização é um dos conceitos centrais do estudo dos sistemas complexos. Acredita-se que essa concepção originou-se na Biologia, a partir da crença vitalista, que supõe uma força vital mantenedora da vida. Essa crença é finalista, pois supõe que o sistema vivo

nasce com uma finalidade predeterminada, fato que estabelece o surgimento do termo “teleologia”. Em contraposição, a Biologia Molecular descobriu o programa genético, responsável pela realização dos processos biológicos, desvendando o mistério instituído pela crença vitalista, com a descoberta do código genético. Disso deriva o termo “teleonomia” (CAPRA,1996; MORIN,2002). Pelos preceitos teleológicos, os sistemas vivos são guiados por uma força divina e indescritível; pelos preceitos teleonômicos, os sistemas vivos possuem uma programação vinda dos processos biológicos. Nos dois casos, considera-se que os sistemas vivos são orientados por uma finalidade predefinida, o que não condiz com a lógica de organização espontânea da auto-organização. Mesmo assim, a partir dos estudos teleonômicos e teleológicos, foi identificado o processo de auto-organização nos seres vivos.

Para Maturana e Varela (1997), a auto-organização é uma forma viva de inter-relações existentes no interior do organismo que, além de mantê-lo vivo, estrutura-o, sem, para isso, depender da estrutura física de seus componentes. Capra (1996) define a auto-organização como a emergência de novas estruturas e de novas formas de comportamentos em sistemas abertos que operam afastados do equilíbrio. Atlan (1992) descreve a auto-organização como um fenômeno primário que caracteriza os seres vivos em sua organização tanto estrutural quanto funcional. Na visão de Kauffman (1993), a auto-organização acontece numa região limítrofe próxima à margem do caos, pois o comportamento ordenado do sistema não é suficiente para propagar as características complexas do sistema. Dessa forma, o comportamento caótico tornaria o sistema extremamente sensível a pequenas perturbações, impossibilitando a manutenção de sua organização. Na literatura pertinente às Ciências da Complexidade, existem outras definições para o termo “auto-organização”, seguindo a mesma argumentação dos conceitos descritos, já que esse conceito foi criado a partir da própria constatação da organização dinâmica que caracteriza os sistemas complexos. Essa organização dinâmica é formada, por um lado, pela ordem; por outro, pela desordem, formando um processo de equilíbrio dinâmico (MORIN,1977; HEYLIGHEN,1988; ATLAN,1992; GEYER e RIHANI,2000; ALEKSANDROWICZ,2002)

O conceito de fechamento, instituído pela Teoria de Sistemas, define um sistema como fechado quando ele não interage com o ambiente (BERTALANFFY, 1968, p.63). Assim, um sistema fechado não pode representar a realidade, porque, no mundo real, os sistemas interagem e interferem uns sobre os outros, sendo difícil determinar exatamente as fronteiras de cada um (MORIN,1977). Desse modo, a própria definição de complexidade exclui a possibilidade de trabalhar com sistemas sem conexão com outros sistemas. Apesar do conceito de fechamento, utilizado por Heylighen (1988), ser inspirado na Matemática, sendo

definido como as relações entre as entradas e as saídas do sistema ou como os mapas das entradas e das saídas do objeto modelado ou, ainda, como as transformações, as relações abstratas entre as variáveis dentro do sistema, Heylighen ressalta que os sistemas complexos mudam, ao mesmo tempo em que mantêm a própria identidade, o que lhes confere autonomia de ação. Nesse sentido, o conceito de sistema, apesar de inspirado na Matemática, assemelha-se à abordagem de Maturana e Varela (2001), que, simplificadamente, estabelece que um sistema é organizacionalmente fechado e estruturalmente aberto ao fluxo de energia e recursos.

Nota-se, na argumentação estabelecida por Heylighen (1988), que os sistemas fechados, tais como assumidos por ele, constituem um conceito muito mais abrangente que o de sistema fechado, instituído pelos matemáticos na descrição dos grupos matemáticos. No entanto, o autor emprega a visão matemática dos sistemas fechados com o objetivo de transpor algumas propriedades inerentes aos grupos matemáticos que podem ser úteis para representar a dinâmica de funcionamento dos sistemas complexos.

3.3.1.1 Tipos de Fechamento

A propriedade mais básica dos grupos matemáticos é a composição interna do grupo. Transpondo essa propriedade aos sistemas complexos, Heylighen (1988) apresenta quatro tipos básicos de fechamento: transitivo ou recursivo, cíclico ou circular, surjectivo e surjectivo inverso, os quais podem ser empregados para modelar os sistemas complexos.

O *fechamento transitivo* ou *recursivo* ocorre quando duas transformações ou relações em um sistema são compostas sequencialmente, de modo que formem uma terceira transformação, a qual ainda faz parte do sistema original.

O *fechamento cíclico* ou *circular* assume que cada transformação individual possui uma outra transformação inversa individual. Um caso especial desse tipo de fechamento é o *fechamento simétrico* ou *inverso*, que corresponde a um sistema invariante sob a inversão das transformações ocorridas. Se for aplicada uma transformação em um elemento, pode-se, sempre, reverter o efeito dessa transformação pela aplicação de uma transformação inversa no elemento resultante, voltando-se ao elemento original.

O *fechamento surjectivo* é composto de um mapeamento de relações configuradas de muitos para muitos e de muitos para um ou vice-versa.

O *fechamento surjectivo inverso* é formado pela relação de muitos para um, em conjunto com sua relação inversa, o que gera a identidade do sistema. Um caso especial desse tipo de fechamento é o *fechamento bijectivo*, formado pelas relações de um para um. O mapeamento de um para um é caracterizado pela conservação de todas as distinções entre elementos; em outras palavras, elementos distintos são enviados para elementos distintos.

A partir das associações feitas por Heylighen (1988) entre os conceitos de sistema fechado, de propriedades matemáticas e de tipos de fechamento, observa-se que o conceito de fechamento pode auxiliar na compreensão da auto-organização do sistema complexo. Ou seja, o processo de auto-organização e o conceito de sistema fechado ajudam na compreensão das estruturas emergentes formadas no interior de um sistema e no conhecimento da dinâmica de funcionamento do sistema, identificando as estruturas estáveis e, por isso, passíveis de serem selecionadas.

Assim, relaciona-se o tipo de auto-organização ocorrida no sistema ao tipo específico de fechamento organizacional. Dessa associação, caracteriza-se o tipo de modelagem que deve ser empregado no sistema.

Dessa forma, com base nos trabalhos de Heylighen (1988), destacam-se quatro tipos básicos de auto-organização que podem guiar os sistemas complexos e influenciar a forma de modelagem mais adequada em determinada situação.

Na seqüência, na próxima seção, apresentam-se os quatro tipos básicos de auto-organização.

3.3.1.2 Tipos de auto-organização

Podem-se destacar quatro tipos básicos de auto-organização: baseada no conceito de atrator, baseada no conceito de fractais, baseada no conceito de hierarquia e baseada no conceito de autopoiese.

3.3.1.2.1 Auto-organização baseada no conceito de atrator

O processo de auto-organização, baseado no conceito de atrator, possui como exemplo mais claro de modelagem, os estudos da emergência da auto-organização realizados pela Termodinâmica.

A Termodinâmica nasce em meio à revolução industrial, no século XIX, em decorrência da descoberta das máquinas, principalmente das máquinas térmicas, aquelas que usam como energia de funcionamento o calor. Nesse contexto, o objetivo da Termodinâmica é conhecer as condições necessárias para que o calor produza a energia do movimento, fazendo, por exemplo, funcionar o motor de uma máquina (PRIGOGINE e STENGERS, 1997;1990).

Para alcançar tal objetivo, a Termodinâmica estuda as inter-relações entre os aspectos físico-químicos clássicos, tais como: pressão, volume, composição química, temperatura e quantidade de calor, para conhecer como ocorre o fluxo de calor no sistema analisado e, a partir disto, convertê-lo em movimento.

A partir desses estudos, descobrem-se dois princípios básicos que regem a Termodinâmica. O primeiro é o princípio da conservação de energia, o qual postula que, apesar de a energia ser convertida periodicamente em energia (química, cinética, elétrica, térmica e potencial), também se conserva energia através das transformações que os sistemas sofrem. O segundo princípio é o da dissipação da energia, o qual postula que todo processo de transformação e produção de movimento leva a uma dissipação irreversível de energia (ATLAN,1992; PRIGOGINE e STENGERS, 1997;1990; MORIN,1977).

Dessas constatações, percebe-se que os sistemas térmicos possuem equilíbrio dinâmico entre a conservação e a dissipação de energia. Se eles não funcionam em total equilíbrio, mudam, transformam, perdem e conservam energia nesse processo, é necessário encontrar uma forma de modelar os sistemas que apresentam tais características. Os estudos termodinâmicos introduzem dois conceitos: a **bifurcação** e o **estado atrator**.

Num sistema dinâmico longe do equilíbrio, as mudanças ocorrem de forma não-linear, o que lhes confere um certo grau de imprevisibilidade nos resultados devido às relações de dependência existentes entre os componentes do sistema (coerência) e, ao mesmo tempo, a autonomia gerada pelo processo de auto-organização. O surgimento da atividade coerente entre os componentes do sistema leva à formação das estruturas dissipativas. De acordo com Prigogine e Stengers (1990), as estruturas dissipativas são estruturas auto-organizadas que surgem espontaneamente e podem evoluir, também, espontaneamente em direção a uma maior complexidade. Sistemas com essas características não podem ser totalmente manipulados nem controlados, por isso, podem passar por pontos de bifurcações.

Warren, Frankin e Streeter (1998) observam que uma bifurcação é caracterizada pela perda de estabilidade e pela mudança de atrator ou da bacia de atração em um determinado momento de um sistema dinâmico. Capra (1996, p.117) descreve ponto de bifurcação como um ponto crítico de instabilidade na evolução de um sistema. Prigogine e Stengers (1988)

destacam que, nos pontos de bifurcações, o comportamento do sistema torna-se instável e pode evoluir para vários regimes de funcionamento estáveis. Essas instabilidades ocorrem, apenas, em sistemas abertos que operam afastados do equilíbrio.

Pode-se dizer que somente sistemas ideais não possuem estados atratores. Todos os sistemas reais, simples ou complexos, que busquem um estado de equilíbrio, possuem estado atrator. Segundo Prigogine e Stengers (1990), num sistema simples, como um pêndulo, a existência de um atrator facilita a caracterização de qualquer movimento pendular em sua generalidade sem a necessidade de conhecer suas particularidades. Assim, independente da velocidade e das condições iniciais, o movimento pendular pode ser descrito bastando, esperar o tempo necessário para que ele pare o movimento oscilatório e alcance o estado de equilíbrio, que corresponde ao estado atrator.

Nos sistemas termodinâmicos, o termo “estado atrator” é empregado devido à constatação de que os sistemas dinâmicos produzem entropia no seu funcionamento e, por isso, precisam de um objeto norteador que o direcione. Assim, a existência de um atrator possibilita encontrar o estado de equilíbrio termodinâmico em meio a um sistema composto de infinitos elementos, utilizando, unicamente, um número reduzido de parâmetros observáveis (PRIGOGINE e STENGERS, 1990). Heylighen (1988,p.15) percebe que um atrator é um conjunto de estados do sistema dinâmico, tal que, se um sistema está num estado que pertence a determinado atrator, então permanecerá dentro deste atrator. Stacey (1996,p.54) define um atrator como “um estado potencial de comportamento, uma disposição, um padrão, no qual o processo está sendo realizado, por meio de experiências específicas do sistema”.

Prigogine e Stengers (1990) destacam que, para representar um atrator, é necessário, entre outras coisas, conhecer as dimensões, ou seja, as variáveis essenciais para descrever a evolução temporal de um sistema num determinado momento do tempo. As variáveis são elementos múltiplos ou simples, contínuos ou discretos, que podem variar com o tempo (BARANGER,199-?). A seleção e o conhecimento das variáveis do sistema determinam o estado do sistema num momento específico do tempo. Para determinar o estado do sistema, parte-se das condições apresentadas por ele no início de seu funcionamento. O conjunto de todos os possíveis valores e estados do sistema formam seu espaço de fase. O estado atual do sistema representa um ponto no espaço de fase, mas o sistema muda com o tempo e, nesse processo de mudança, descreve a sua trajetória. A trajetória do sistema pode ser guiada pelos atratores: **punctiformes**, **periódicos** e **estranhos** (CAPRA,1996,p.114; PRIGOGINE e STENGERS, 1997,p.91; GLEICK, 1990,p.140).

Num sistema simples, por exemplo, os atratores são punctiformes. Os *atratores punctiformes* são representados por pontos no espaço de fase do sistema. Independente do estado inicial do sistema, sua evolução pode ser representada por uma trajetória que se inicia no ponto que representa o estado inicial do sistema e segue em direção ao ponto atrator. Nesse caso, o atrator é de ponto fixo, porque é previamente determinado no espaço de fase e busca atingir um equilíbrio estável no estado inicial.

Os *atratores periódicos* apareceram com a descoberta dos sistemas com comportamentos longe do equilíbrio e com período temporal bem determinado. Eles são representados por variedades contínuas, como: linhas, superfícies e volumes, não mais por pontos. Independente do seu estado inicial, o sistema evolui para um ciclo-limite (GLEICK, 1990). Apesar de o atrator mudar, no decorrer da trajetória assumida, apresenta uma certa regularidade e previsibilidade no seu comportamento. Em outras palavras, os atratores periódicos possuem trajetórias reduzidas a um ciclo-limite previsível.

Os *atratores estranhos* não são caracterizados por dimensões inteiras, mas por dimensões fracionárias. Sua trajetória não se repete nem se cruza e tem forma de fractal, de modo que cada ciclo percorrido perfaz uma nova região do espaço de fase. Esses atratores foram denominados “fractais” e explorados nos estudos de Mandelbrot (1984). Capra (1996, p.118) define atratores estranhos como “trajetórias no espaço de fase que exibem geometria fractal”. Gleick (1990) estabelece que os atratores estranhos se evidenciam por gerarem padrões que nunca se repetem totalmente e pela extrema sensibilidade às condições iniciais, correspondendo a sistemas caóticos. O comportamento caótico é caracterizado pela incerteza e pela imprevisibilidade dos fenômenos, passando-se de uma visão causa-efeito para uma visão probabilística. A sensibilidade às condições iniciais constatou-se, entre outros estudos, pelos estudos meteorológicos realizados por Lorenz (1993). Esses atratores apresentam múltiplas dimensões fracionárias.

Os principais tipos de atratores existentes foram apresentados e discutidos, com o objetivo de mostrar as diferentes formas que eles podem assumir e, assim, o direcionamento que pode ser dado à modelagem que segue a lógica da auto-organização baseada nos atratores. Nesse sentido, Heylighen (1988) relaciona a modelagem baseada nos atratores a um sistema que possui um processo de fechamento cíclico. O autor destaca que, para compreender essa relação, é necessário observar os atratores em seus ciclos-limite, nos quais o sistema se torna periodicamente voltado para a condição inicial que o originou, no caso dos atratores punctiformes e periódicos. Contudo, o fechamento de uma reunião de processos, não necessariamente, requer um estado recorrente de periodicidade estável, o qual configure

sistemas norteados por atratores de comportamento previsível. A existência de uma distinção estável entre os processos de entrada e saída de um estado atrator é suficiente para caracterizar o processo de fechamento cíclico. Esse fato permite compreender os atratores multidimensionais, estranhos ou caóticos como sistemas fechados.

3.3.1.2 Auto-organização baseada no conceito de fractal

O processo de auto-organização, baseado no conceito de fractal foi evidenciado em função da descoberta dos atratores estranhos. A partir de então, constatou-se que, além das variedades contínuas de atratores (linhas, superfícies e volumes), existem aqueles que possuem dimensões fracionárias, as denominadas variedades fractais (MANDELROT,1984).

Apesar de o conceito de fractal ter representado um avanço no estudo dos atratores estranhos, sendo exemplos extraordinários de fractais, a geometria fractal foi desenvolvida sem que existisse a consciência das conexões entre ela e a teoria do caos. A idéia nasceu a partir da percepção de que a natureza apresenta formas geométricas fragmentadas e irregulares, sendo que a Matemática não dispõe de uma linguagem adequada para descrevê-la. Assim, o propósito de Mandeldrot (1984) era representar as formas geométricas da natureza e suas escalas de apresentação. Para tanto, especificou maneiras de calcular a dimensão fracionada dos objetos reais, considerando algumas técnicas de construção baseadas nas formas geométricas. Bar-Yam (1997) destaca que a geometria fractal sugere que os sistemas podem ter estruturas auto-similares em todas as suas extensões de escalas, o que contrasta com a mais típica abordagem da ciência, que considera a existência de uma escala específica para cada fenômeno emergente.

Um fractal, portanto, é representado por uma dimensão geométrica fracionária que, mesmo em sua menor parte, constitui um sistema complexo. Prigogine e Stengers (1990) observam que um atrator fractal é uma estrutura sutil cuja trajetória é formada por uma multiplicidade infinita de variáveis. Esses atratores possuem comportamentos sensíveis às condições iniciais e comportamento caótico. Um comportamento é caótico se as trajetórias de um ponto são muito próximas no espaço de fase e se afastam ao longo do tempo de maneira exponencial. Para Baranger (199-?), um fractal é um objeto caótico no espaço. Bar-Yam (1997) lembra que um fractal é definido como um objeto geométrico que apresenta estrutura espacial e auto-similar. Isso significa que, se for amplificada uma parte desse objeto, essa

parte reproduzirá a mesma estrutura do objeto original. Gleick (1990) destaca que o termo fractal passou a representar uma maneira de descrever, calcular e pensar sobre formas irregulares, fragmentadas e descontínuas que são vistas na natureza.

Para descrever os tipos de estruturas fractais, é necessário observar o comportamento do sistema. Para isso, analisa-se a trajetória percorrida pelo sistema no espaço de fase, o qual pode ser composto de inúmeras e diferentes dimensões fractais, dependendo do sistema que será representado.

As dimensões assumidas pela estrutura fractal podem ser unidimensionais, bidimensionais e de dimensões infinitas, como demonstrou o conjunto de fractais de Mandelbrot (1984). Ver Capítulo 2, seção 2.3.2.4.

Um exemplo apresentado por Prigogine e Stengers (1990), para as estruturas fractais unidimensionais é a estrutura denominada “poeira de Cantor” que pode ser obtida pela divisão de uma linha reta até o infinito. O processo de divisão da linha segue a lógica da terça parte, ou seja, a linha é dividida em três partes e removida a parte central; em seguida, as duas partes restantes são divididas em três partes, sendo removida a parte central. Esse processo é repetido por um número indefinido de vezes (processo de iteração). (BARANGER, 199-?; PRIGOGINE e STENGERS, 1990; BAR-YAM, 1997). A “poeira de Cantor” é formada por infinitos pontos com extensão total igual a zero (GLEICK, 1990).

Um exemplo para estruturas fractais bidimensionais pode ser obtido a partir da estrutura de um triângulo equilátero. A regra de produção consiste em encontrar o menor triângulo que parta do centro do triângulo original e toque os três lados dele. O processo de construção segue a lógica de retirar do interior do triângulo original um novo triângulo que tenha a metade do tamanho do triângulo original. Esse procedimento é repetido até conseguir o menor triângulo dentro da estrutura do original. Esse fractal é denominado de “curva de Kock” (GLEICK, 1990; PRIGOGINE e STENGERS, 1990; BAR-YAM, 1997).

As estruturas fractais de dimensões infinitas são representadas pelo conjunto de fractais de Mandelbrot (1984). Nesse sentido, Capra (1996) destaca que, à medida que se ampliam pequenos contornos do conjunto de Mandelbrot, aparece e dissolve-se uma multidão de formas, espirais dentro de espirais, cavalos-marinhos e vórtices, repetindo incessantemente os mesmos padrões. Em cada escala dessa análise, as figuras se assemelham a um litoral fragmentado, mas delinea formas que parecem orgânicas em sua complexidade infinita. De repente, aparece uma forma estranha e surpreendente. Nesse caso, os fractais não apresentam completa auto-similaridade porque não repetem, constantemente, os mesmos padrões. Eles são fractais de incalculável complexidade.

Os dois primeiros tipos de estruturas fractais são auto-similares. A auto-similaridade pode ser verificada pelas sucessivas ampliações das menores partes da estrutura de um sistema. Mesmo assim, existe a reprodução da estrutura primária que a originou. Mandelbrot (1984) estabelece que a auto-similaridade é a simetria através das escalas; significa a recorrência de um padrão dentro de outro padrão. Baranger (199-?) ressalta que as estruturas fractais unidimensionais e bidimensionais são elementares e que há possibilidades ilimitadas de se produzirem fractais. O conjunto de Mandelbrot apresenta uma possibilidade infinita de encontrar estruturas fractais, nem sempre auto-similares, mas surpreendentes e misteriosas (GLEICK, 1990).

Mandelbrot (1984), Bar-Yam (1997), Baranger (199-?), Capra (1996) e Gleick (1990) destacam que os fractais não são apenas produções humanas. A natureza contém muitos exemplos deles. As montanhas, o tronco de uma árvore antiga, as folhas de uma samambaia, etc., todos são exemplos que representam formas fractais, no sentido geral do termo. Isso significa que eles não se transformam em estruturas simples, quando são analisados, em sua menor parte, com o auxílio de uma amplificação microscópica. A partir dessas observações, surge a Geometria Fractal, que se propõe a tratar as formas descontínuas dos atratores estranhos que movem os sistemas dinâmicos, além de identificar as auto-similaridades exibidas pelos sistemas complexos, quando analisados em suas ínfimas partes.

Segundo Capra (1996), para modelar formas fractais, tais como as que ocorrem na natureza, podem ser empregadas figuras geométricas que exibem auto-similaridade precisa. A técnica principal para se construir esses fractais matemáticos é a iteração, que é a repetição incessante de uma determinada operação geométrica. O processo de iteração pode ser representado pela transformação do padeiro, característica subjacente aos atratores estranhos, apresentada no Capítulo 2, seção 2.3.2.5 deste trabalho.

Os principais tipos de estruturas fractais foram apresentados e discutidos, com o objetivo de mostrar as diferentes formas que eles podem assumir e, assim, o direcionamento que pode ser dado à modelagem que segue a lógica da auto-organização baseada nos fractais. A modelagem emprega a iteração como ferramenta básica para identificar os padrões auto-similares reproduzidos em diferentes escalas pelo sistema. Nesse sentido, Heylighen (1988) associa a modelagem, orientada pelos padrões auto-similares exibidos pelas estruturas fractais, ao fechamento transitivo ou recursivo. Isso porque a recorrência, da mesma forma, em diferentes níveis, pode ser compreendida como o resultado de uma associação recursiva de um ou muitos processos primitivos.

3.3.1.2.3 Auto-organização baseada no conceito de hierarquia

O processo de auto-organização, baseado no conceito de hierarquia, possui, como principal representante, Herbert Simon. Este autor desenvolveu estudos sobre a construção de uma arquitetura para complexidade, tendo como principal norteador o conceito de hierarquia. Simon (1969) destaca que a hierarquia é constitutiva das organizações a múltiplos níveis de integração, o que permite edificar uma arquitetura da complexidade. Ele discute as questões que levam a complexidade a apresentar forma de hierarquia, destacando a relação entre a estrutura de um sistema complexo e o tempo necessário para ele emergir através de processos evolutivos, além de explorar as propriedades dinâmicas dos sistemas de organização hierárquica, mostrando como eles podem ser decompostos em subsistemas e como isso possibilita a análise e descrição de seu comportamento.

O conceito de hierarquia, apresentado por Simon (1969) pode ser analisado detalhadamente no Capítulo 2, seção 2.4.3.1 deste trabalho. Tal conceito é empregado como norteador do processo de auto-organização dos sistemas complexos, tal como assumido por Simon (1969), pode ser observado em todos os tipos de sistemas, sejam eles naturais ou artificiais. Simon (1969); Wu (1999) e Holling (2001) discutem a tendência natural dos sistemas complexos de assumir a forma de hierarquia sem a ajuda de um planejador central. Esse processo de organização pode ser observado pela composição da estrutura hierárquica dos sistemas biológicos, nos quais as células formam tecidos; os tecidos formam órgãos e os órgãos formam sistemas. Considerando a célula como um sistema maior, observa-se que ela se divide em vários subsistemas (núcleo, membrana celular, microssomas, mitocôndrias) que interagem uns com os outros de modo recursivo e regular. Nos sistemas sociais, o conceito de hierarquia pode ser percebido pelo processo de construção das sociedades históricas, da nação à província; da província à comuna; da comuna aos lares (MORIN, 2002).

A interação é um conceito essencial na compreensão da evolução dos sistemas com estrutura hierárquica. Nos sistemas físicos e biológicos, por exemplo, as relações hierárquicas são espacialmente dispostas e identificadas em função de sua localização física. Quanto mais próximos os sistemas, mais interferência exercem uns sobre os outros. Já nos sistemas sociais, as relações hierárquicas são identificadas pela intensidade das interações ocorridas entre as entidades, independentes da posição em que estão situadas em relação umas às outras (SIMON, 1969). Nesse sentido, Axelrod e Cohen (1999) ressaltam que, quaisquer que sejam os sistemas, os padrões de interação associam proximidade e ativação (como o sistema é

despertado para interagir). Eles discutem a existência de dois tipos de ativação: interna e externa ao sistema. A ativação interna é desencadeada por processos constitutivos ao sistema analisado, sem necessariamente existir um estímulo externo que o direcione. A ativação externa é desencadeada por oportunidades vindas de estímulos do ambiente exterior; pode ser intensa ou difusa. A ativação externa intensa não privilegia a variedade, explora uma oportunidade pormenorizadamente por um longo período de tempo, enquanto preserva um intenso aprofundamento no conhecimento da mesma questão. Já a ativação externa difusa privilegia a variedade, utilizando muitas oportunidades externas, mas sem se aprofundar em nenhuma delas.

Pode-se notar que a evolução dos sistemas complexos, a partir do processo hierárquico, ocorre pela formação de subsistemas básicos, intermediários e superiores e pelas suas interações em diferentes níveis. Para ascender de um nível mais baixo para um nível mais alto, os subsistemas precisam adquirir estabilidade. Para Morin (2002, p.349) "a organização hierárquica possibilita a constituição, em cada nível, de um patamar estável que, por esse fato, torna-se a base da constituição de um nível superior, que por sua vez pode se tornar a base de um novo nível." A estabilidade é obtida, em cada nível, pela capacidade do sistema de se organizar internamente por meio da subsequente capacidade de se ajustar às perturbações externas (SIMON,1969; HEYLIGHEN,1988).

Nos sistemas hierárquicos, as interações ocorrem de duas formas: dentro dos subsistemas que compõem o sistema complexo e entre esses subsistemas. Simon (1974) explica a ocorrência dessas interações em função da associação vertical flexível, a qual permite uma distinção entre os níveis, e a associação horizontal flexível, que permite a separação entre os subsistemas em cada nível.

A existência das associações flexíveis, verticais e horizontais, forma a base do conceito de decomponibilidade dos sistemas complexos, instituído por Simon (1969). Decomponibilidade e decomposição representam um dos fundamentos essenciais da teoria da hierarquia. Enquanto a palavra "flexível" sugere "decomponível", a palavra "associação" implica resistência à decomposição. A completa decomposição apenas ocorre quando a associação entre os componentes torna-se zero, o que parece sem sentido, pois, por definição, um sistema é composto de partes que interagem. Logo, a estrutura hierárquica dos sistemas complexos é somente quase completamente decomponível, ou quase decomponível (SIMON, 1969).

O conceito de quase decomponibilidade é discutido detalhadamente no Capítulo 2, seção 2.4.3.1 deste trabalho. A estrutura hierárquica, também, é útil para facilitar a descrição da complexidade de um sistema. Por ser hierárquico, o sistema apresenta uma certa redundância na variedade de seus subsistemas, diferindo apenas nas combinações e arranjos formados.

Apresentaram-se os conceitos básicos do processo de auto-organização orientados pelo conceito de hierarquia. As palavras-chave para esse tipo de modelagem são: hierarquia, estrutura, interações, decomponibilidade, quase decomponibilidade e redundância. Nesse sentido, Heylighen (1988) destaca que os sistemas compostos por estruturas hierárquicas são encontrados tanto na natureza como em sistemas desenvolvidos artificialmente. A modelagem matemática para esse tipo de auto-organização do sistema segue a estrutura de uma árvore, a qual pode ser vista como uma rede de relações fechadas surjectivas ou inversamente surjectivas. O autor ressalta que a noção de hierarquia não é, apenas, um conceito abstrato, ele é concreto e visível nas próprias formas exibidas no ambiente em que se vive.

Neste trabalho, utiliza-se, predominantemente, a auto-organização baseada no conceito de hierarquia, para a construção da modelagem proposta, que será apresentada e discutida no Capítulo 5. Conceitos como atrator, fractais e autopoiese são utilizados na referida modelagem como complemento da estrutura hierárquica, conforme abordagem de Simon (1969).

3.3.1.2.4 Auto-organização baseada no conceito de autopoiese

O processo de auto-organização, baseado no conceito de autopoiese, é representado pela organização dos sistemas vivos, que possuem a propriedade da auto-referência. Essa propriedade possibilita a autoprodução e a automanutenção das condições necessárias à existência da vida em situações de não-equilíbrio.

Os seres vivos são sistemas naturais, organizados dinamicamente, comprometidos, por um lado, com a determinação, a repetição, a regularidade e a redundância, por outro, com a incerteza, o aleatório, a variedade, a improbabilidade e a complexidade. Esse tipo de organização dinâmica que caracteriza os seres vivos, permeado, por um lado, de ordem e, por outro lado, de desordem, denomina-se auto-organização. Por isso, os sistemas vivos, em

geral, podem ser definidos por sua organização autopoietica, que consiste numa rede de processos, os quais produzem a si mesmos (MATURANA e VARELA, 2001)

O estudo da organização autopoietica teve início com a descoberta feita por Maturana (1970) de que o sistema nervoso funciona como uma rede fechada de interações, seguindo uma lógica circular. A partir de então, considerou-se a organização circular como a organização básica de todos os sistemas vivos. Nesse ambiente, as mudanças no sistema ocorrem seguindo essa circularidade, fato que leva à constatação de que os componentes da organização podem ser produzidos e mantidos por ela própria. O autor também evidenciou que, além de auto-organizador, o sistema nervoso é continuamente auto-referente, considerando o processo de cognição como um reflexo da realidade interior de cada ser vivo.

Assim, o conceito de autopoiese (autocriação) nasceu da busca de uma descrição mais completa e formal para a concepção de organização circular (CAPRA, 1996). Maturana e Varela (2001) são os principais representantes da teoria da autopoiese, o desenvolvimento da qual ocorreu, oficialmente, a partir da percepção de que os seres vivos, além dos seus processos internos, são afetados pelas interações com o ambiente. Assim, eles são, ao mesmo tempo, organizacionalmente fechados e estruturalmente abertos à captação de energia e recursos do meio exterior. A organização é definida como as relações necessárias ao funcionamento de um sistema, e a estrutura é o suporte físico (concreto) para a ocorrência dessas relações.

O foco central da argumentação de Maturana e Varela (1997) é que os seres vivos são autônomos e, por isso, autoprodutores, capazes de produzir seus próprios componentes ao interagir com o meio. Ao mesmo tempo, são dependentes dos recursos captados do ambiente externo para viver, perfazendo uma organização de dinâmica circular. Nesse sentido, Morin (1977) destaca a existência da eco-organização para demonstrar que o sistema vivo está inerentemente ligado ao ambiente para organizar-se. Prigogine e Stengers (1997) observam que, no ambiente das reações físico-químicas, as células são integrantes do meio ambiente que as nutre, sendo parte indissociável dos fluxos que elas não cessam de transformar.

Nessa situação, Maturana e Varela (2001) observam que um sistema autopoietico passa por contínuas modificações estruturais, enquanto preserva seu padrão de organização circular. Os componentes da rede produzem e transformam continuamente uns aos outros, de duas maneiras distintas. O primeiro tipo de mudança estrutural é a mudança cíclica da auto-renovação, processo que ocorre sistematicamente em todos os organismos vivos. Apesar disso, o organismo mantém sua identidade, seu padrão de organização global. O segundo tipo

de mudança estrutural, em sistemas vivos, são aquelas em que novas estruturas são criadas na rede autopoietica. Elas ocorrem continuamente em consequência de influências ambientais ou como resultado da dinâmica interna do sistema.

A interação do sistema vivo com o ambiente, segundo a teoria da autopoiese, manifesta-se por meio do acoplamento estrutural. Em outras palavras, ocorre através de interações recorrentes e estáveis, cada uma das quais desencadeando mudanças estruturais no sistema vivo. Mesmo assim, o sistema permanecerá autônomo, já que o meio ambiente, apenas, desencadeia as mudanças, mas não as especifica, nem as dirige (MATURANA e VARELA, 2001; 1997; CAPRA, 1996)

A auto-organização, baseada no conceito de autopoiese, possui, como principal exemplo, o funcionamento dos sistemas vivos, por isso, sua dinâmica é mais fácil de reconhecer e de associar ao tipo de fechamento e modelagem mais apropriados. Como a autopoiese é um processo dinâmico circular, a modelagem de um sistema com esse processo de auto-organização deve seguir o fechamento cíclico. Nesse sentido, Heylighen (1988) destaca que um exemplo típico de uma organização circular é o ciclo por meio do qual o DNA (ácido desoxirribonucléico), nas células vivas, produz enzimas que, por sua vez, guiam a si mesmas na produção de um novo DNA, o qual, novamente, produz enzimas, repetindo todo o processo. Esse é um exemplo de um fechamento cíclico.

3.3.1.3 Comparação entre os tipos de auto-organização

Na seção 3.3.1.2, apresentaram-se e discutiram-se os principais tipos de auto-organização que podem ocorrer nos sistemas complexos. Pode-se notar que, em todos os tipos apresentados, o processo acontece no intervalo entre a ordem e a desordem, espaço apropriado à emergência da complexidade. Além disso, percebeu-se a existência de algumas semelhanças entre tipos diferentes de auto-organização. Por exemplo, a auto-organização baseada no conceito de fractal e a auto-organização baseada no conceito de hierarquia, ambas apresentando um processo de evolução permeado pela reprodução de estruturas redundantes. O objetivo da discussão é destacar a importância de conhecer a dinâmica que gera a organização do sistema para, a partir disso, selecionar o tipo de modelagem mais apropriado a essa organização. A modelagem selecionada é associada ao tipo de fechamento organizacional, que pode ser empregado para facilitar o processo de modelagem. O Quadro 10 sumariza essas questões.

Observando-se o Quadro 10, nota-se que a modelagem de um sistema complexo pode ser norteadada por qualquer um dos tipos de auto-organização apresentados ou pela combinação de dois ou mais tipos de auto-organização. Como já discutido, o tipo de modelagem selecionado está diretamente relacionado à percepção que o observador possui do mundo e do sistema que está representado.

Dessa forma, um sistema complexo pode ser modelado, em determinada situação, como um sistema de dinâmica organizacional, baseado no conceito de fractal. Em outra situação, pode ser modelado como um sistema de dinâmica organizacional, baseado no conceito de hierarquia, sem que isso represente algo negativo.

De acordo com os objetivos e com o conhecimento que o observador possui do sistema, ele pode ser modelado seguindo um tipo específico de auto-organização ou associando-o a mais de um tipo. Essa associação tem o propósito de tornar a modelagem mais próxima possível da realidade, sem pretender classificá-la como sendo melhor ou pior, mas procurando a dinâmica mais apropriada aos interesses da modelagem.

Bar-Yam (1997), Capra (1996) e Heylighen (1988) apresentam abordagens que tratam de modelos de auto-organização em sistemas complexos. Cada um dos autores apresenta abordagens diferentes da mesma questão, mas concordam que, para modelar um sistema complexo, é necessário entender a dinâmica de funcionamento. Para isso, o conhecimento do processo de auto-organização é um caminho essencial. Os tipos de auto-organização apresentados, no Quadro 8, e sua associação ao conceito de sistema fechado foram utilizados conforme a abordagem de Heylighen (1988).

A partir da determinação da dinâmica de funcionamento do sistema complexo, considerando sua auto-organização e o tipo de fechamento a ele associados, é necessário empregar ferramentas apropriadas às características exibidas pelos sistemas complexos para continuar sua modelagem. Para isso, buscam-se ferramentas que possam representar os sistemas complexos, intervindo no comportamento dele. Nota-se, como já ressaltado neste trabalho, que as ferramentas usualmente utilizadas na modelagem de sistemas complexos são desenvolvidas para representar sistemas complicados e são norteadas pelo paradigma reducionista. Esse fato caracteriza a existência de uma lacuna em relação ao desenvolvimento de ferramentas apropriadas às características dos sistemas complexos.

Dinâmicas assumidas pelos sistemas complexos					
Tipos de Auto-organização	Principais representantes	Conceitos básicos	Objetivos	Tipo de fechamento associado	Modelagem apropriada
Baseada no conceito de Atrator	PRIGOGINE e STENGERS (1984;1988)	(1) Conservação e dissipação de energia. (2) Bifurcação e estado atrator. (3) Espaço de fase e trajetória. (4) Atratores puctifirmes, periódicos e estranhos.	Identificar as condições iniciais, os pontos de bifurcação, o(s) atrator(es) que orienta(m) a dinâmica da organização do sistema.	Fechamento cíclico	Por identificação dos atratores e seguindo o fechamento cíclico.
Baseada no conceito de Fractal	MANDELBROT (1984)	(1) Atratores estranhos. (2) Espaço de fase e trajetória. (3) Dimensões assumidas pelo fractal. (4) Simetria através de escalas. (5) Auto-similaridade.	Identificar a auto-similaridade, usando o processo de iteração, mostrando as estruturas que se repetem nas diversas escalas de um sistema complexo.	Fechamento transitivo ou recursivo	Por identificação da reprodução das estruturas auto-similares, associada ao fechamento transitivo ou recursivo.
Baseada no conceito de Hierarquia	SIMON (1968)	(1) Hierarquia de níveis recursivos. (2) Subsistemas básicos, intermediários e superiores. (3) Interação. (4) Decomponibilidade e quase decomponibilidade. (5) Redundância.	Identificar os níveis recursivos e os subsistemas que formam a estrutura hierárquica do sistema complexo.	Fechamento surjectivo ou inversamente surjectivo.	Por identificação dos níveis recursivos, associados ao fechamento surjectivo ou inversamente surjectivo.
Baseada no conceito de Autopoiese	MATURANA (1970). MATURANA VARELA (1984;1994)	(1) Organização circular. (2) Auto-referência. (3) Auto-produção e Auto-manutenção. (4) Sistemas de organização fechada e estrutura aberta. (5) Autonomia e dependência.	Identificar a dinâmica circular fechada da organização e a estrutura aberta do sistema. Os processos que ele possui e que possibilitam se auto-produzir e se auto-manter.	Fechamento cíclico.	Por identificação da dinâmica circular de funcionamento da organização e a estrutura aberta do sistema, associada ao fechamento cíclico.

Quadro 10: Dinâmicas assumidas pelos sistemas complexos

Na seqüência, apresentam-se algumas ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar a modelagem de sistemas complexos considerando suas características e intervindo no comportamento deles

3.4 FERRAMENTAS EMPREGADAS PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS

Os sistemas complexos, por serem formados de diferentes partes, possuem muitas conexões, que são de decomposição difícil, não podem ser analisados como um conjunto de elementos independentes, sem que o sistema seja destruído. Para conservar a configuração do sistema complexo, é necessário tratá-lo de modo integrado e sistêmico.

Heylighen (1988) destaca que os sistemas complexos não podem ser compreendidos pelo uso do paradigma reducionista, já que desconsidera as conexões entre as partes do sistema. Nessa perspectiva, Smith, Bar-Yam e Gelbart (2001) ressaltam que muitos campos do estudo científico tiveram sua evolução limitada pela carência de linguagens para descrever a estrutura e a dinâmica dos sistemas complexos. Senge (1990) lembra que os sistemas complexos exigem uma disciplina para ver o todo, uma estrutura para perceber inter-relações, ao invés de objetos isolados; uma estrutura para ver padrões de mudanças, ao invés de momentos no tempo. Eijnatten (2003) evidencia que o comportamento organizacional mudou muito no século XX. Ele resalta que, em meio à complexidade, as pessoas precisam aumentar suas capacidades para enfrentar as inconsistências, demandas contraditórias e dilemas no processo de tomada de decisão.

Nesse contexto, para representar e analisar os sistemas complexos, é necessário empregar ferramentas que considerem as características deles. Para isso, pesquisaram-se ferramentas apropriadas à modelagem dos sistemas complexos. Nessa busca, constatou-se a escassez destas, encontrando-se *abordagens genéricas* desenvolvidas para tratar os sistemas complexos. Essas abordagens têm o objetivo de criar uma estrutura conceitual de referência que suporte o estudo dos sistemas complexos de modo global. Além das abordagens genéricas, há outras mais específicas, compostas de *modelos computacionais de simulação* e *modelos matemáticos* desenvolvidos para modelar as características dos sistemas complexos. O mais usual, na literatura, é o desenvolvimento de ferramentas que intervenham nos sistemas, desconsiderando-se sua complexidade e reduzindo-as a sistemas simples. Heylighen (1988) observa que os métodos baseados no paradigma reducionista consistem em analisar o domínio do problema. Se o domínio é complexo, deduz-se que esse paradigma não

é suficiente, sendo necessário enquadrar o problema no padrão apropriado à intervenção pelo método reducionista.

Morin (2001) lembra que a educação formal é direcionada à simplificação, que separa tudo aquilo que não entra no esquema da redução, do determinismo, da descontextualização. A análise, base da modelagem analítica, sedimentou-se na ciência pela eficácia de sua aplicabilidade e pelos resultados efetivos conseguidos por meio do emprego dos preceitos cartesianos no desenvolvimento da Física, de Newton, e, posteriormente, pela difusão dos resultados alcançados pela administração científica do trabalho, instituídos por Taylor.

As modelagens com base no paradigma sistêmico e na complexidade dos fenômenos não tiveram o mesmo desenvolvimento e divulgação ocorridos nas modelagens que adotam o paradigma reducionista. Isso porque apresentam um grau de dificuldade maior na concepção e representação dos fenômenos, por considerarem as conexões entre as diferentes partes que compõem o sistema, exigindo maior esforço na obtenção dos resultados operacionais.

Nesta seção, apresentam-se algumas “ferramentas” que podem ser utilizadas para representar e analisar os sistemas complexos.

3.4.1 AUTÔMATO CELULAR

O autômato celular foi um dos primeiros modelos computacionais empregados para modelar sistemas complexos. Ele foi originalmente introduzido por Von Neumann e Ulam, em 1948, como uma idealização da auto-reprodução biológica, sendo um exemplo de sistema dinâmico discreto que pode ser simulado, com exatidão, num computador digital (VON NEUMANN, 1966). O objetivo dos autores era, a partir de modelos matemáticos, construir máquinas autoduplicadoras, o que não foi alcançado. Demonstrou-se, contudo, que é possível construí-las, fato que motivou o emprego dos autômatos celulares para modelar sistemas naturais e criar jogos matemáticos.

Nesse sentido, Bar-Yam (1997) lembra que um autômato celular forma uma classe geral de modelos de sistemas dinâmicos, que são muito simples, mas capturam uma rica variedade de comportamentos. Capra (1996) destaca que, devido à estrutura de rede e à capacidade que possui para comportar grande número de variáveis discretas, essas formas matemáticas se tornaram reconhecidas como uma importante alternativa em relação às equações diferenciais, para estudar o comportamento e modelar os sistemas complexos.

Quanto ao conceito de um autômato celular, pode-se dizer que é análogo à descrição de um tabuleiro de xadrez. Ele é composto por uma grade retangular com quadrados regulares

coloridos ou células. Cada célula pode assumir vários valores diferentes, sendo influenciada por um número definido de células vizinhas. O estado da grade inteira muda discretamente em função do conjunto de regras estipuladas, que são aplicadas simultaneamente em cada célula individualmente (BAR-YAM,1997; CAPRA,1996; GELL-MANN,1996; ANDERSON,1999). Um exemplo é o aplicativo ECHO apresentado por Holland, em 1995, que tanto pode ser desenvolvido utilizando como base os Algoritmos Genéticos como usando os Autômatos Celulares, ver seção 3.4.3, desse Capítulo.

De modo mais formal, Gutowitz (1991) define um autômato celular como uma representação de idealizações matemáticas obtidas dos sistemas dinâmicos, nos quais espaço e tempo são discretos e as quantidades que interessam à resolução do problema têm um conjunto finito de valores discretos. Esses valores discretos são atualizados de acordo com regras locais. As principais características de um autômato celular são:

- o espaço é discreto e existe um conjunto regular de células, cada uma das quais possui um conjunto finito de valores;
- o tempo é discreto e o valor de cada célula é atualizado numa seqüência de graus discretos de tempo;
- as regras para os novos valores das células dependem, somente, dos valores das células de proximidade local;
- as variáveis de cada célula são atualizadas simultaneamente com base nos valores das variáveis num espaço de tempo previsto.

Bar-Yam (1997) ressalta que o conceito de autômato celular se originou do conceito de espaço e do conceito de localidade de influência. Assume-se que o sistema representado está distribuído no espaço e que regiões próximas desse espaço possuem maior influência sobre o sistema modelado que outras mais distantes. A idéia de que regiões próximas exercem grande influência umas sobre as outras é, com freqüência, associada ao limite de velocidade na transferência de informações de um lugar para outro.

Segundo Anderson (1999), o estado de cada célula depende do estado das células vizinhas. Os elementos-chave escolhidos pelo modelador do sistema são: a forma da célula, os estados que ela pode ocupar, as regras de decisão usadas para determinar o estado da célula e os vizinhos que cada agente considera no momento de aplicar as regras de decisão.

Já que o sistema se distribui no espaço, para analisá-lo, é necessário delimitar o espaço de influência de cada célula na sua vizinha e no sistema como um todo. Para isso, usa-se um conjunto de variáveis, as quais assumem determinada configuração, com o objetivo de descrever os fatos ocorridos num dado instante do tempo, numa célula em particular. Dessa

forma, a descrição do autômato celular pode ocorrer num espaço que assume uma dimensão (1-d); num espaço que assume duas dimensões (2-d); num espaço que assume três dimensões (3-d) ou num espaço com mais de três dimensões (BAR-YAM,1997; ANDERSON, 1999).

No caso de um *autômato celular de uma dimensão (1-d)*, destaca-se que ele é composto, usualmente, por um ponto no qual cada célula é uma simples variável binária ou booleana⁷. Para analisar esse autômato celular, selecionam-se as células vizinhas num ângulo circular de proximidade imediata a sua direita e a sua esquerda. Para Bar-Yam (1997), cada célula selecionada, assume, apenas, dois estados. A variável binária pode ser representada pelo uso das seguintes notações: $\{0,1\}$, $\{-1,1\}$, $\{\text{ligado, desligado}\}$ ou $\{\uparrow,\downarrow\}$.

O tempo de evolução de um autômato celular está diretamente relacionado à história particular do sistema representado. No autômato celular de (1-d), emprega-se um diagrama espaço-tempo para mostrar as condições iniciais em que o sistema opera. O valor de cada célula, num instante de tempo particular, é obtido em função das regras determinadas a partir dos valores das células vizinhas. Para Bar-Yam (1997), a dinâmica desse tipo de autômato celular pode ser descrita em termos de ciclos e atratores, no decorrer dos quais se consideram, apenas, variáveis binárias num espaço finito. Essa dinâmica pode se repetir na mesma quantidade de vezes do número de estados que o sistema pode assumir. Esse número cresce exponencialmente com o tamanho do espaço. Existem 2^n estados do sistema quando existe um total de n células. Para ilustrar, apresenta-se um exemplo na Figura 3 .

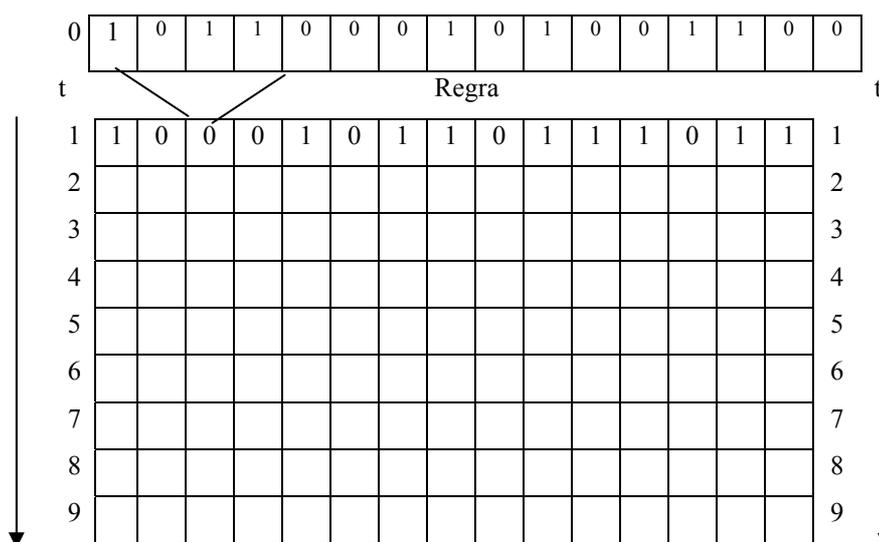


Figura 3: Diagrama espaço-tempo do autômato celular de 1-d **Fonte:** Bar-Yam (1997,p.115)

⁷ Redes binárias ou booleanas são formadas por nodos aos quais se atribuem dois valores distintos, usualmente rotulados de LIGADO e DESLIGADO. As variáveis da rede só podem assumir dois valores. A denominação rede booleana é em homenagem ao matemático inglês George Boole, que utilizou operações binárias (do tipo sim-não) em meados do século XIX para desenvolver a lógica simbólica da álgebra booleana (CAPRA,1996,p.163).

A Figura 3 mostra o tempo de evolução do autômato celular de (1-d). Nota-se que as variáveis de cada célula podem assumir dois valores: 0 ou 1. O sistema começa sua evolução a partir de uma condição inicial orientada por regras regidas por uma representação binária de atualização. As regras usadas dependem das células vizinhas e da célula analisada.

Wolfran (1983) destaca que os modelos de autômatos celulares de (1-d) são muito limitados para estudar a complexidade da natureza, por isso abordam-se os modelos de *autômatos celulares de (2-d)*. A filosofia é a mesma, exceto pela vizinhança conter mais células que os modelos de (1-d). O “jogo da vida” é o mais conhecido modelo de autômato celular de (2-d) e foi desenvolvido em 1970, pelo matemático Jonh Conway. Bar-Yam (1997) observa que, conceitualmente, o modelo de autômato celular de (2-d) foi projetado para captar, de maneira simples, a reprodução e a morte dos organismos biológicos. Ele é baseado num modelo no qual, se as células vizinhas possuírem pouquíssimos ou demasiados organismos, esses organismos desaparecem. Por outro lado, se o número de organismos é exato, eles se multiplicam.

Wolfran (1983) mostra que para cada célula, determina-se a soma dos valores dos quatro vizinhos próximos e dos quatro vizinhos próximos dos quatro primeiros. Assim, uma célula viva (vale 1), sobrevive somente se a soma de sua vizinhança for igual a 2 ou 3, ou seja, se existirem, no máximo, 3 células vivas ao seu redor. Se a soma for maior que 3, a célula morrerá (vale 0), devido à superlotação de células vizinhas ao redor dela. Se a soma for menor que 2, a célula morrerá devido ao isolamento, ou seja sem capacidade de interação, a célula não sobreviverá. As células mortas se tornarão vivas somente se a soma for igual a 3.

Os dois modelos de autômatos celulares apresentados, de (1-d) e de (2-d), são de estrutura determinística. Bar-Yam (1997) destaca que o *autômato celular de (3-d)* é estocástico, ou seja, os resultados são probabilísticos. A definição do autômato celular estocástico está em função das probabilidades de transição de um estado para outro do sistema. A regra estocástica é de que a atualização das probabilidades para cada célula é independente. Logo, o total das probabilidades pode ser descrito como o produto dos valores de cada célula. Portanto, se a regra é local, a probabilidade para a atualização de uma célula particular dependerá, somente, dos valores das variáveis das células vizinhas.

Os modelos de autômatos celulares foram empregados por Varela, Maturana e Uribe (1974), na década de 70, como ferramenta para simular redes autopoieticas. Esse autômato é constituído de um catalisador e dois elementos (um substrato e um elo) que se movem aleatoriamente e interagem uns com os outros, de modo que novos elementos de ambos os tipos podem ser produzidos, outros podem desaparecer e outros, ainda, podem se ligar,

formando cadeias. Para a rede autopoietica ser simulada num computador, é necessário estipular regras de funcionamento que envolvam todos os elementos do autômato celular. Dessa simulação, são geradas cadeias de interações que envolvem muitas escolhas aleatórias, criando-se muitas seqüências diferentes, algumas delas exibindo padrões estáveis.

Capra (1996) afirma que o autômato celular projetado por Varela, Maturana e Uribe (1974) foi um dos primeiros exemplos de como as redes auto-organizadoras dos sistemas vivos podem ser simuladas. A partir dessa aplicação, muitas outras simulações foram estudadas, demonstrando que os modelos matemáticos podem gerar, espontaneamente, padrões complexos e altamente ordenados e exibir alguns importantes princípios de ordem encontrados em sistemas vivos.

Por outro lado, a Teoria dos Sistemas Dinâmicos introduziu conceitos que intensificaram os estudos de ferramentas efetivas para modelar sistemas complexos. Kauffman (1993) utilizou os conceitos introduzidos pela Teoria dos Sistemas Dinâmicos, em associação com as redes binárias, para modelar as relações entre a ordem e o caos no processo de evolução das espécies, antes impossíveis pelo uso das equações diferenciais. Assim, conceitos como caos, atratores puctiformes, periódicos e estranhos, trajetória, espaço de fase e bifurcações instigaram a associação desses novos conceitos com as já utilizadas redes binárias. Dessa associação constatou-se que uma rede binária possui, pelo menos, um atrator periódico, permitindo que o sistema se estabilize e permaneça nesse estado atrator. Os atratores representam a mais importante característica das redes binárias (CAPRA,1996).

A partir disto, Nowak e Vallacher (1998) destacam a importância do emprego do autômato celular na modelagem de sistemas complexos sociais, pela flexibilidade gerada na especificação de regras de decisão, permitindo que interações complexas possam ser modeladas. No entanto, cada célula se restringe a interagir com o mesmo número de células vizinhas, como ocorre com todas as outras células. Ressaltam ainda que, nas organizações sociais, alguns indivíduos possuem mais interações que outros. O modelo do autômato celular não é bem processado para modelar situações em que apenas, um ator, numa vizinhança, possui interação com outro ator fora da vizinhança. Para ser modelado por um autômato celular, o indivíduo precisa adotar um conjunto de interações para mapear a localização dele, pois as regras de decisão são igualmente assumidas para todos os atores. Isso representa uma limitação da aplicação dos modelos baseados nos autômatos celulares.

Historicamente, o desenvolvimento do autômato celular está intimamente relacionado ao desenvolvimento de conceitos das Ciências da Computação. Essa conexão continua a ser um tema encontrado nas discussões sobre Autômato Celular. Apesar da diferença entre

autômato celular e a arquitetura convencional dos computadores, os autômatos celulares são, em geral, convenientes para simulações computacionais e, especificamente, convenientes para simulações computacionais em paralelo. Assim, o autômato celular ganhou importância com o aumento do uso de simulações no desenvolvimento da compreensão do comportamento dos sistemas complexos.

3.4.2 REDES NEURAIS

As redes neurais são sistemas complexos com capacidade de adaptação, os quais usam a analogia da rede de neurônios do cérebro e da capacidade de aprendizagem dos animais superiores na determinação do funcionamento delas. O estudo das redes neurais foi extrapolado aos sistemas artificiais a partir da observação do funcionamento do cérebro dos mamíferos, principalmente do ser humano. As principais aplicações dessas extrapolações são o desenvolvimento de programas de simulações computacionais (GELL-MANN, 1996; ANDERSON, 1999; BAR-YAM 1997).

Bar-Yam (1997) destaca que o funcionamento do cérebro, como parte do sistema nervoso, é, geralmente, usado para descrever a complexidade das interações animais e humanas com o ambiente. Os elementos responsáveis pelo funcionamento do cérebro são as células nervosas (os neurônios) e as interações entre elas. Estas são mediadas por uma variedade de transferências químicas, através das sinapses. O cérebro é afetado, também, por diversas substâncias produzidas por outras partes do corpo e transportadas através da corrente sanguínea. Os neurônios são células que assumem várias formas em diferentes partes do cérebro.

Em analogia ao funcionamento do cérebro, Bar-Yam (1997) observa que surge uma variedade de modelos matemáticos com o objetivo de captar características particulares dos neurônios e suas interações, contudo todos os modelos são incompletos. Alguns deles são, particularmente, muito apropriados a investigações teóricas; outros são apropriados à tarefa de reconhecimento de padrões. Muitos dos esforços modernos em modelar o sistema nervoso são de natureza comercial, na busca de implementar estratégias de padrões de reconhecimento em tarefas de inteligência artificial.

Logo, uma rede neural é formada por um conjunto de muitos nodos ou unidades que, em qualquer instante do tempo, são caracterizados por um *bit* (0 ou 1). Os *bits* indicam se um neurônio está emitindo um sinal ou não. Cada unidade está ligada a algumas ou a todas as outras unidades. A intensidade da influência de uma unidade sobre outra pode ser

representada por um número positivo ou negativo. Se a primeira unidade excita, a segunda é positivo; se a inibe, é negativo (GELL-MANN, 1996; ANDERSON, 1999).

Nesse sentido, Anderson (1999) aborda que, em oposição aos padrões geométricos impostos pelos autômatos celulares, usando as redes neurais, qualquer conjunto de conexões pode ser modelado, independente da forma geométrica que assume. Cada nodo usa uma equação especificada pelo modelador para determinar se esse nodo poderá ser ativado com base em sinais emitidos por outros neurônios e seus padrões previstos de ativação. Cada conexão entre dois nodos possui um peso que influencia a intensidade do sinal de um nodo dentro da equação de ativação de outro nodo. Esses pesos podem mudar em resposta à experiência na maneira de modelar um sistema, imposto pelo modelador.

Bar-Yam (1997) destaca que a compreensão das subdivisões e subestruturas da rede neural é o tema-chave que norteia muitas formas no estudo dos sistemas complexos. Existem muitos esforços para demonstrar as conexões entre os modelos matemáticos, com base em redes neurais, e o cérebro biológico. O autor lembra que essa conexão é um importante fator para ligar a lacuna entre os modelos biológicos e matemáticos e constitui um modelo apropriado para tratar os sistemas complexos naturais ou artificiais.

Segundo Bar-Yam (1997), há dois tipos de redes neurais artificiais: as redes de atrator e a rede *feedforward*. O primeiro tipo consiste de neurônios matemáticos identificados como variáveis que representam as atividades dos neurônios. Os neurônios são conectados por sinapses simétricas, influenciando igualmente em todas as direções. Para representar a atividade neural, o modelo de rede de atrator emprega variáveis binárias. O segundo tipo compõe-se de um conjunto de dois ou mais extratos de neurônios matemáticos formados por variáveis que representam a atividade neural. As sinapses são representadas por variáveis que agem somente em uma direção, são unidirecionais, na seqüência de um extrato para o próximo. Para representar a atividade neural, o modelo de rede *feedforward* emprega números reais em cadeias limitadas.

Pode-se dizer que a aplicação do modelo de rede neural biológica aos sistemas artificiais iniciou-se a partir da pergunta: um computador pode pensar? Assim surgiu a motivação para descobrir como o cérebro pode, coletivamente, estocar e acessar memória. O neurônio estimula e recebe impulsos elétricos de outros neurônios, expandindo sua força num certo limiar (GELL-MANN, 1996; BAR-YAM, 1997). Uma importante característica dos neurônios é que seus resultados exibem um comportamento não-linear em função da soma de suas entradas. Usualmente, assume um de dois estados: um estado potencial inativo ou ativo. O primeiro não emite sinal de estímulo; o segundo emite estímulos a uma taxa máxima. A

suposição é de que a intensidade das conexões entre os neurônios muda quando a memória está estocada no cérebro. O modelo das redes neurais, portanto, tenta manter as funções-chave dos neurônios biológicos sem os substratos específicos da Biologia.

Dessa forma, Gell-Mann (1996) observa o desenvolvimento de simulações computacionais utilizando a lógica das redes neurais. O autor ressalta um programa de simulação desenvolvido com base nas redes neurais, o NETalk. Este foi desenvolvido por Terry Sjnowski e Rosenberg, em 1987, com o objetivo de ensinar a pronúncia e a grafia de um idioma estrangeiro. A grafia e a fonética inglesas são muito distantes, o que torna essa tarefa difícil, pois o computador precisa descobrir um grande número de regras gerais junto com as exceções.

Gell-Mann (1996) nota que há outras versões de simulações com base em redes neurais e uma grande quantidade de problemas em que a lógica das redes neurais é aplicada. O esquema é sempre representado por um conjunto de intensidades de interação, cada uma representando o efeito de uma unidade sobre a outra. Hopfield (1982) ressalta a importância da criação de uma condição que, se imposta artificialmente sobre as intensidades das interações, pode ir além da definição de aptidão do sistema de simulação, podendo levar ao crescimento durante o processo de aprendizagem. A condição estipulada é que a intensidade do efeito de qualquer unidade A sobre uma outra unidade B seja o mesmo que o de B sobre A. Essa condição é irreal para os cérebros reais, sendo, também, violada por muitas redes neurais bem-sucedidas. Nesse sentido, Heydebrand (1989) destaca que os modelos, com base nas redes neurais, têm sido usados extensivamente nos negócios e no planejamento econômico, além das propostas para usá-las no estudo das interações em rede assumidas pelas organizações empresariais.

3.4.3 ALGORITMOS GENÉTICOS

A inspiração para o desenvolvimento dos algoritmos genéticos nasceu da busca do consenso de como conduzir experimentos de simulação com base na Genética e no processo de evolução biológica. Desse entendimento, foram criadas as premissas básicas da inteligência artificial, denominadas por Holland (1995) de algoritmos genéticos. Os algoritmos genéticos fornecem um caminho mais concreto para compreender a natureza da evolução.

O objetivo que norteou o desenvolvimento dos algoritmos genéticos foi a compreensão de como os fenômenos evoluem e como podem ser empregados na otimização dos problemas, além de investigar de que forma seriam utilizados para modelar sistemas biológicos e sociais (HOLLAND, 1995).

Gell-Mann (1996) descreve um algoritmo genético como uma composição de esquemas, cada um dos quais representando um programa computacional para uma determinada estratégia assumida. Cada programa é composto por um certo número de instruções dadas ao computador. A variação, nos esquemas, é realizada pela mudança dessas instruções, o que leva ao surgimento de novos esquemas.

Para Axelrod (1997), a idéia de algoritmo genético foi desenvolvida em analogia à replicação dos cromossomos, que atendem a uma proposta dual: por um lado, proporciona a representação de como um organismo será transformado; por outro, fornece os recursos ideais que podem ser transformados e, a partir disso, produzir um novo material genético na próxima geração.

Nesse sentido, de acordo com Lewin (1994), a idéia dos algoritmos genéticos é modelar os processos de evolução de acordo com o processo de seleção natural. Esse processo envolve dois passos: mudanças aleatórias no código genético, durante a reprodução, e a seleção com base em alguns critérios de aptidão. Nos organismos biológicos, o código genético é estocado no DNA, disposto numa seqüência de zeros (0) e uns (1).

A natureza das mudanças no código genético segue dois caminhos: o da **mutação** e o da **recombinação** ou *crossover*. A mutação corresponde às mudanças de caracteres, ao acaso, no código genético; é um processo de descoberta de novas estratégias, através de transformações genéticas. A recombinação ou *crossover* é um processo que emergiu com a reprodução sexual; combina os genes de dois indivíduos, a partir disso, gera um novo indivíduo da mistura dos dois genes produtores, aumentando a aptidão dos novos indivíduos e gerando uma maior diferenciação na população resultante. Em cada geração, são produzidas mudanças por meio do processo de mutação e recombinação (AXELROD, 1997; GELL-MANN, 1996).

Para funcionar, o modelo com base nos algoritmos genéticos apresenta algumas características. Ele obedece a regras simples da evolução biológica, das quais emergem um comportamento complexo. Essas regras implicam regularidades gerais, mas a resolução de cada caso individual mostra a emergência de novas regularidades (GELL-MANN, 1996). Por isso, Axelrod (1997) aponta a necessidade da especificação do cenário no qual o processo evolucionário se desenvolve. Especifica os algoritmos genéticos, mostrando o percurso feito

pela informação simulada no cromossomo até a transferência desta para uma estratégia individual de simulação computacional. Segue-se o desenvolvimento de um experimento para estudar os efeitos das alternativas reais de evolução e a organização do experimento replicado em números específicos de gerações computacionais e análises estatísticas dos resultados.

Anderson (1999) observa que a aplicação dos algoritmos genéticos é empregada, principalmente, na Ciência da Computação e na Pesquisa Operacional, com o objetivo de resolver o problema da otimização, quando esses problemas são considerados intratáveis por outras ferramentas. O autor destaca que, a implementação dos algoritmos genéticos segue os procedimentos da recombinação de regras para gerar novas regras e a determinação de funções de aptidão para organizar os componentes do sistema modelado.

Nesse sentido, Gell-Mann (1996) destaca que os programas computacionais, com base nos algoritmos genéticos, têm sido usados, em especial, em problemas para os quais a aptidão é bem definida, como o estabelecimento de estratégias para vencer no jogo de damas ou métodos de instalação de sistema de fiação elétrica que minimizem os custos, além do desenvolvimento da teoria dos jogos ter empregado os algoritmos genéticos como base conceitual. O autor ressalta, contudo, que esses programas computacionais, também, podem ser utilizados em outros tipos de problemas.

Podem-se destacar como aplicações norteadas pelos algoritmos genéticos, o programa TIERRA e o jogo ECHO.

— TIERRA

Gell-Mann (1996) mostra que o TIERRA foi desenvolvido por Thomas Ray e fundamentado na evolução biológica. Lewin (1994) destaca que a base do programa é um organismo simples ancestral constituído de um pequeno programa de computador de 80 instruções que reproduz, altera e expande a diversidade dos descendentes. Seu funcionamento lembra o ecossistema de uma floresta tropical.

Nesse sentido, Gell-Mann (1996) observa que o programa emprega “organismos digitais” que correspondem a seqüências de instruções de máquina, competindo pelo espaço na memória do computador e pelo tempo na unidade central de processamento que eles utilizam para a auto-reprodução. O genótipo e o fenótipo de cada organismo são representados pela mesma seqüência de instruções. Essa seqüência sofre mutações e pressões

seletivas no mundo real. As mutações são introduzidas pela inversão dos *bits* de 0 para 1 e vice-versa, aleatoriamente. Um *bit* é invertido a cada 10 mil instruções executadas. A mutação também ocorre no decurso da reprodução dos organismos digitais, em que os *bits* são invertidos, aleatoriamente, nas cópias geradas. A frequência em que ocorre a inversão é a cada duas mil instruções copiadas. A morte existente nos organismos biológicos foi considerada no desenvolvimento do TIERRA. O espaço da memória é limitado, o que impõe a necessidade da morte dos organismos digitais autoprodutores para dar espaço ao nascimento de novos organismos. O programa criou um organismo denominado “ceifador”, que destrói os organismos de modo regular, de acordo com uma regra que depende da idade do organismo e dos erros que este cometeu ao executar certas instruções.

O objetivo do TIERRA é mostrar que variações comparativamente pequenas, na simulação computacional, com base na evolução biológica, combinadas com poucas gerações de seleção, podem produzir mudanças em uma população (GELL-MANN, 1996).

— ECHO

O jogo ECHO foi desenvolvido por Holland (1995) e se fundamenta nos processos de evolução biológica do sistema imunológico. O ECHO é uma simulação por computador composta de uma evolução ecológica de organismos simples. Ele funciona norteado por sete elementos básicos que o tornam um sistema complexo adaptativo: (1) a propriedade da agregação, a qual reúne elementos similares numa mesma categoria; (2) o mecanismo da rotulagem, que facilita a formação da agregação pela identificação de um sinal que o caracteriza como membro de um grupo; (3) a propriedade da não-linearidade; (4) a propriedade dos fluxos formados por nós e conexões; (5) a propriedade da diversidade; (6) o mecanismo de modelagem interna, correspondente a esquemas internos que são capazes de selecionar, por antecipação, as interferências externas; (7) o mecanismo dos blocos de construção, que consiste num tipo de construção que considera um nível elementar, a partir do qual a estrutura se configura.

Esses são os elementos necessários para a criação de uma estrutura, em que se observa as ações dos mecanismos e os comportamentos resultantes. O fundamento do ECHO é a especificação de um conjunto de recursos renováveis representados por letras, por exemplo, (a,b,c,d). A partir da determinação desses recursos, tudo, no ECHO, é construído combinando-se esses recursos em seqüências. Estes são tratados como átomos, combinados

numa seqüência molecular; os agentes são construídos dessas seqüências. O ponto central do modelo ECHO são as interações entre os agentes e os recursos em uma localização geográfica e as conexões entre as localizações vizinhas.

3.4.4 MATRIZ DE IMPACTO CRUZADO - MULTIPLICAÇÃO APLICADA A UMA CLASSIFICAÇÃO (MICMAC)

A MICMAC é uma das ferramentas que compõem o conjunto de instrumentos denominado por Godet (1993) de caixa de ferramentas. Esta é composta dos seguintes instrumentos: matriz de análise estrutural, a MICMAC, o método MACTOR, análise morfológica, o método DELPH, o *Ábaco de Régnier* e os métodos de impactos cruzados probabilísticos (SMIC-Prob-Expert). Esses instrumentos possibilitam a análise prospectiva de um sistema.

A abordagem de Godet (1993) é mais ampla que a caixa de ferramentas que ele institui. O objetivo do autor é trabalhar a prospectiva nas modelagens em detrimento da previsão. Na prospectiva, a visão do observador é global; ele busca as diferenças e as conexões por acreditar que nenhuma parte do sistema é igual à outra. As variáveis assumidas podem ser qualitativas, quantitativas, conhecidas ou ocultas, e as relações entre elas são dinâmicas, além de a estrutura evoluir no tempo. O futuro é visto como múltiplo e incerto, e os métodos empregados para analisá-lo são desenvolvidos a partir da análise intencional, composta de modelos qualitativos (análise estrutural) e modelos estocásticos (impactos cruzados). O futuro é tratado de modo proativo, antecipando-se as mudanças do ambiente.

Smida (199-?) destaca que a prospectiva leva em consideração uma visão global e dinâmica dos diferentes fundamentos das Ciências da Complexidade:

- aborda os fenômenos considerando a multiplicidade destes, sem desconsiderar a individualidade. A prospectiva estuda o desempenho, nas relações, entre os elementos do sistema, suas características, bem como as propriedades que se refletem dentro do todo e, como este, na sua totalidade, retroage sobre as partes. Dessa forma evidencia-se o aspecto *hologramático* do fenômeno complexo;
- o ator, na prospectiva, é definido não só individualmente, mas também por seus conflitos e alianças, suas sinergias e seus antagonismos em conjunto com outros atores. Assim, como as relações entre os atores mudam constantemente, ocorre mudança de lógica de uma combinação de relações para outra. Por isso, surge uma lógica diferente: segundo as

interações dos atores, segundo o nível de complexidade do sistema e o ambiente que o envolve. A prospectiva favorece a ampliação das estratégias dos atores, a evidência da *dialógica*;

- a prospectiva se posiciona num nível de mutação e de ruptura dos fenômenos nos sistemas, com os quais ele apreende a renovação e a transformação a partir de ingredientes de situações anteriores. Todos os integrantes dos novos elementos compõem as entradas de eventuais retroações que funcionam como fonte para o sistema executar a finalidade. Esse é o aspecto *recursivo* dos fenômenos que a prospectiva coloca em evidência, bem como explora para construir os possíveis cenários futuros.

Pode-se perceber que a abordagem de Godet se baseia em preceitos sistêmicos; as ferramentas que desenvolveu representam uma alternativa para intervir nos sistemas que exibem comportamento complexo. Essa intervenção pode ser realizada por meio da análise das interações dinâmicas.

Segundo Godet (1993), a *análise estrutural* se baseia no conceito de sistema, objetivo da qual é estudar as relações entre as variáveis que compõem o sistema, para, a partir disso, compreender sua evolução. Para isso, usa uma matriz de análise estrutural, a qual relaciona todos os elementos constitutivos do sistema, destacando as variáveis essenciais.

A análise estrutural pode ser utilizada em duas perspectivas. A primeira é a **decisional**, que consiste em pesquisar, identificar as variáveis e os atores e, a partir disso, atuar para alcançar os objetivos perseguidos. A segunda é a **previsional**, que consiste na pesquisa das variáveis-chave, sobre as quais deve incidir, prioritariamente, a reflexão prospectiva.

A perspectiva previewal foi a que mais se desenvolveu, principalmente devido à introdução do método MICMAC, que incorpora, além das relações diretas entre as variáveis, também as relações indiretas. Essa perspectiva compreende algumas etapas:

- a) o recenseamento das variáveis;
- b) a identificação das relações na matriz de análise estrutural;
- c) a pesquisa das variáveis-chave pelo método MICMAC.

O **recenseamento das variáveis** é realizado por meio de entrevistas indiretas e *brainstorming*, tendo por objetivo rastrear as variáveis internas e externas ao sistema estudado, de acordo com a organização interna do sistema e sua interação com o ambiente.

Na visão sistêmica, as variáveis só existem pelas suas relações. Por isso, foi criado um instrumento para **identificação das relações**, denominado **matriz de análise estrutural**. Essa matriz relaciona as variáveis, num quadro de dupla entrada, como pode ser observado na Figura 4.

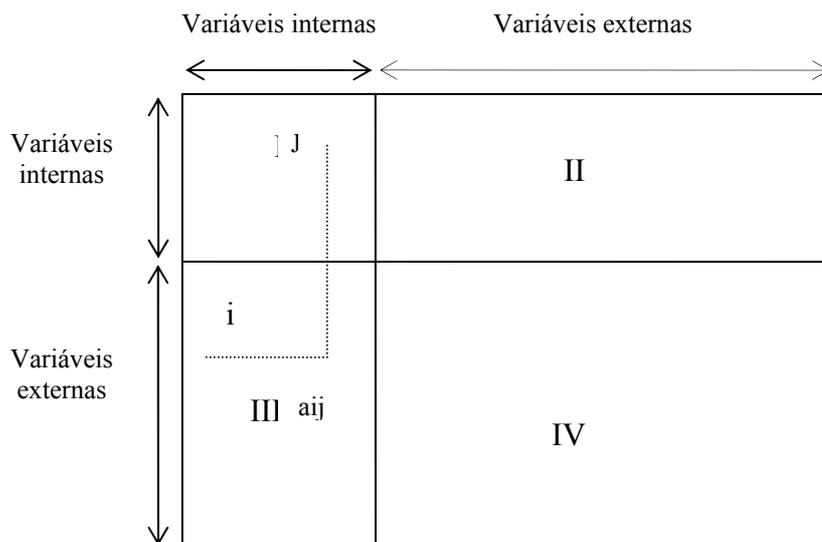


Figura 4: Matriz de análise estrutural. **Fonte:** Godet (1993)

A Figura 4 representa uma matriz estrutural composta por quatro quadrantes: o primeiro registra a ação das variáveis internas sobre si mesmas; o segundo registra a ação das variáveis internas sobre as externas; o terceiro registra a ação das variáveis externas sobre as variáveis internas; o quarto registra a ação das variáveis externas sobre elas mesmas. Assim, cada elemento a_{ij} da matriz deve ser computado da seguinte forma: $a_{ij} = 1$, se a variável i age diretamente sobre a variável j ; $a_{ij} = 0$, se a variável j age diretamente sobre a variável i . Podem ser atribuídos outros valores, se consideradas as intensidades das influências. Na determinação dessas relações, é importante verificar se, entre as variáveis i e j , existe outra variável que as influencia: as variáveis ocultas.

O preenchimento da matriz estrutural não é totalmente quantitativo, apresenta, também, aspectos qualitativos ou subjetivos, observados quando o modelador do sistema distingue várias intensidades entre as relações diretas: muito forte, atribuindo-se o valor (3); forte, atribuindo-se o valor (2); fraca, atribuindo-se o valor (1); potencial, atribuindo-se o símbolo (P). O preenchimento pode ser feito por linha ou por coluna, observando-se as influências sobre as variáveis (GODET, 1991).

Godet (1991) destaca que a matriz de análise estrutural é uma ferramenta para encontrar todas as variáveis envolvidas num problema, além de mostrar o grau de influência de uma em relação à outra. A partir desse ponto, faz-se uma seleção das variáveis-chave do sistema, utilizando-se, para tanto, o método MICMAC.

A **pesquisa das variáveis-chave, pelo método MICMAC**, visa identificar as variáveis mais autônomas e as mais dependentes do sistema. Para esse fim, constrói-se uma tipologia que as classifique pelas influências direta e indireta.

Para identificar as **relações diretas** num sistema, procede-se da seguinte forma:

- 1) Somam-se as linhas da matriz. A soma de uma linha representa o número de vezes que a variável i tem influência sobre o sistema. Esse número constitui um indicador de autonomia da variável i .
- 2) Somam-se as colunas da matriz. A soma da coluna representa o número de vezes que a variável j sofre a influência das outras variáveis. Esse número constitui um indicador de dependência da variável j .

Obtêm-se, assim, para cada variável, um indicador de autonomia e um indicador de dependência que permitem classificar as variáveis segundo esses dois critérios.

A classificação acima, não consegue captar as variáveis ocultas, que, muitas vezes, possuem forte influência no sistema.

As **relações indiretas** entre as variáveis ocorrem por meio de cadeias de influências e elos de retroação (*feedback*). Uma matriz pode apresentar dezenas de variáveis e conter interações sob a forma de cadeias e de elos, sendo improvável que uma pessoa possa representar e interpretar tal rede de interações. Com o objetivo de captar esse tipo de relação, o método MICMAC foi desenvolvido. O método permite estudar a difusão dos impactos pelos caminhos e pelos elos de retroação e, por conseguinte, hierarquizar as variáveis.

O método MICMAC é um programa de multiplicação matricial aplicado à matriz estrutural, que possibilita o estudo e difusão dos impactos das variáveis pelas vias e pelos elos de *feedback*, conseguindo hierarquizar as variáveis:

- 1) por ordem de autonomia, levando em consideração o número de vias e de elos de comprimento 1,2,3,... n , saídas de cada variável;
- 2) por ordem de dependência, levando em consideração o número de vias e de elos de comprimento 1,2,3,... n , que chegam a cada variável.

A **construção de uma matriz MICMAC** apóia-se nas propriedades clássicas das matrizes booleanas. Se a variável i influencia diretamente a variável k , e se k influencia diretamente a variável j , tem-se o seguinte esquema:

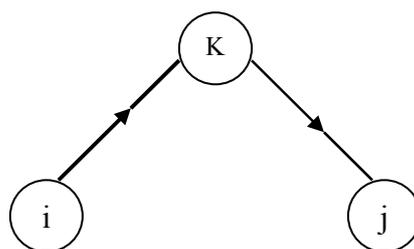


Figura 5: Representação do princípio MICMAC. **Fonte:** Godet (1993, p.115)

Assim, qualquer mudança que afete a variável i pode, também, repercutir na variável j , pois há uma variável indireta entre i e j . Na matriz de análise estrutural, existem numerosas influências indiretas do tipo $i \rightarrow j$. Estas influências não são captadas pela classificação direta. A elevação da matriz ao quadrado põe em evidência as influências de ordem 2 entre i e j . Representa-se a multiplicação de matrizes pela notação:

$$A^2 = A \cdot A = (A^2_{ij}) \text{ com } a^2_{ij} = \sum a^1_{ij} \cdot a^1_{xj}$$

Se a^2_{ij} não for nulo, significa que há, pelo menos, uma variável x que faz com que $a^1_{ij} \cdot a^1_{xj} = 1$. Existe uma variável intermediária x que faz com que a variável i tenha influência sobre x ($a^1_{ix} = 1$) e que a variável x influencie a variável j ($a^1_{xj} = 1$). Nesse caso, existe uma via de ordem 2 que vai de i a j . Por outro lado, se $a^2_{ij} = p$, há p vias de comprimento 2 que vão de i a j , passando por p variáveis intermediárias.

Calculando A^3, A^4, \dots, A^n , obtêm-se, da mesma forma, o número de vias de influência ou elos de influência de ordem 3, 4, ..., n que ligam as variáveis entre si.

Desse processo de iteração, deduz-se uma nova hierarquia de variáveis, classificadas, dessa vez, em função do número de influências indiretas exercidas pelas variáveis. A partir de uma certa potência, a hierarquia que constitui a classificação MICMAC, mantém-se estável.

Quando a soma em linha $\sum_j a^1_{ij}$ é alta para a variável i , implica que existe um grande número de vias de comprimento n que sai da variável i , e que a variável i exerce um grande número de influências sobre as outras variáveis do sistema. A classificação indireta MICMAC permite determinar as variáveis em função da influência que exercem ou sofrem, considerando o conjunto da rede de influências descrita na matriz de análise estrutural.

De forma prática, a matriz MICMAC analisa as interações entre as variáveis que surgem em cadeia e em elos de *feedback*, conforme Figura 6.

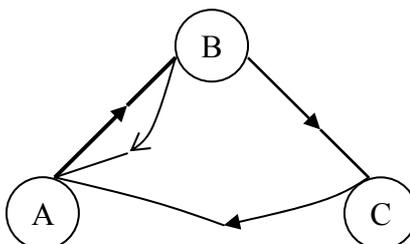


Figura 6: Interação analisada pelo MICMAC. **Fonte :** Godet (1993, p.116)

A descrição de uma matriz de análise estrutural é feita da seguinte forma:

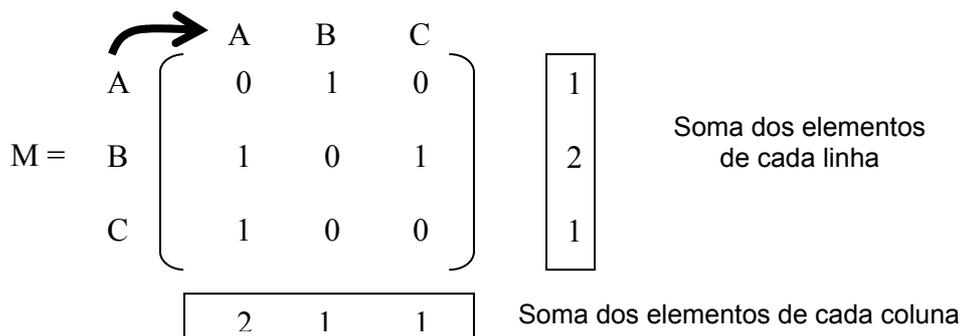


Figura 7: Construção da Matriz de análise estrutural. **Fonte:** Godet (1993, p.116)

Nessa primeira matriz, é possível captar, apenas, as influências diretas entre as variáveis. A atribuição dos valores 0 e 1 se referem, respectivamente, à inexistência de influências de uma variável em relação à outra e à existência de influência direta de uma variável em relação à outra. Não é considerada a influência de uma variável sobre si mesma. Da soma das linhas, pode-se deduzir a variável com maior grau de autonomia; da soma das colunas, as variáveis com maior grau de dependência no sistema.

As influências indiretas são consideradas a partir da elevação da matriz à potência, a multiplicação de matrizes.

A partir dessa matriz base, representada na Figura 7, passa-se a considerar as influências de uma variável sobre si mesma e as influências indiretas obtidas pela elevação da matriz ao quadrado, ao cubo, a quarta a quinta etc. potências até as classificações em linhas e colunas se tornarem estáveis. A estabilidade é evidenciada quando todas as variáveis exercem influências umas sobre as outras. Da mesma forma, pode-se obter uma matriz estável considerando a intensidade das interações. Nesse caso, o processo necessita de algumas iterações, com uma matriz inicial preenchida com os valores 1,2,3,e P (potencial) em função da intensidade das influências.

A classificação das variáveis em **direta**, **indireta** e **potencial** tem o objetivo de evidenciar as variáveis mais autônomas e as mais dependentes: estas são as mais sensíveis à evolução do sistema, aquelas influenciam mais o sistema.

No processo de classificação, identificam-se as variáveis com maior número de ligações diretas com o sistema e as variáveis **ocultas** que consideram as ligações indiretas e os elos de *feedback*.

As variáveis são classificadas segundo o número e a intensidade das interações em que estão envolvidas, tanto em autonomia como em dependência. Três classificações se destacam: direta, indireta e potencial, segundo a natureza das interações.

Pode-se proceder a uma comparação entre as classificações direta, indireta e potencial, associando-as a uma escala temporal.

- A classificação direta está associada ao horizonte de curto prazo;
- A classificação indireta integra cadeias de influência e elos de *feedback*, estando associada ao horizonte de médio prazo;
- A classificação potencial integra relações que somente aparecerão no futuro, estando associada ao horizonte de longo prazo.

A cada variável, associa-se um indicador de autonomia e de dependência em todo o sistema. O conjunto das variáveis pode posicionar-se num plano autonomia-dependência, o qual pode receber influências direta, indireta ou potencial. A Figura 8 representa o plano autonomia-dependência.

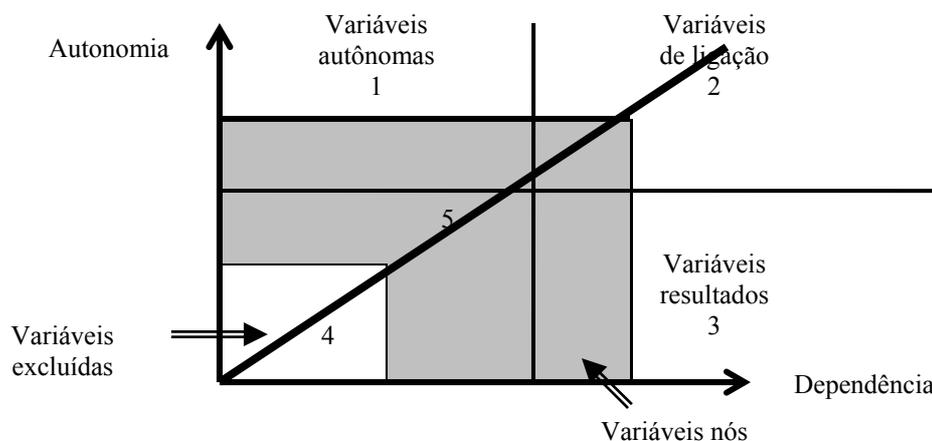


Figura 8: Plano autonomia-dependência. Fonte: Godet (1993,p.119)

O plano é dividido em 5 seções. Na **seção 1**, as variáveis são muito autônomas e pouco dependentes. São variáveis explicativas que, geralmente, condicionam o resto do sistema. Na **seção 2**, as variáveis apresentam um misto de muita autonomia e muita dependência. São variáveis de ligação, instáveis por natureza, por isso qualquer ação sobre essas variáveis terá repercussões sobre as outras e sobre elas mesmas. Na **seção 3**, as variáveis são pouco autônomas e muito dependentes, chamadas variáveis de resultado. Sua evolução ocorre em função das variáveis das seções 1 e 2. Na **seção 4**, as variáveis são pouco autônomas e pouco dependentes. Essas variáveis formam um conjunto de fatores relativamente desligado do sistema, podendo ser excluídas sem maiores problemas. Na **seção 5**, as variáveis são

medianamente autônomas e/ou dependentes. Godet ressalta que dessas variáveis não é possível inferir muitas informações.

A análise da disposição das variáveis, na Figura 8, possibilita inferir os intervalos de tempo em que o sistema se mantém num estado estável ou num estado de instabilidade. Um pequeno número de variáveis de referência confere ao sistema uma relativa estabilidade. Um sistema estável introduz uma dicotomia entre as variáveis autônomas (agir-não-agir) e as variáveis de resultado que dependem das autônomas. Num sistema instável, cada variável é autônoma e dependente; qualquer ação sobre uma delas repercute sobre todas as outras e sobre ela mesma.

No plano autonomia-dependência, ilustrado na Figura 8, pode-se reconhecer que o sistema é instável quando os pontos se distribuem em torno da diagonal principal. Cada variável é autônoma e dependente ao mesmo tempo; qualquer ação sobre uma delas repercute no conjunto e sobre si próprias. Já no sistema estável, os pontos se distribuem em todo o espaço do plano, diminuindo a interferência de uma variável sobre as outras.

A comparação entre as classificações direta (obtida por meio da matriz de análise estrutural), indireta e potencial (obtidas por meio do método MICMAC) permite confrontar as duas hierarquias das variáveis, possibilitando a reorganização do grau de importância de cada variável no sistema. Tal comparação, também, confirma a importância de certas variáveis e revela outras consideradas pouco importantes, mas que podem desempenhar, por meio de influências indiretas, um papel essencial ao funcionamento do sistema. Nesse caso, ignorar tais variáveis representa um grave equívoco que pode abalar a validade das interpretações.

Os demais instrumentos que compõem a caixa de ferramentas de Godet (1993) não são mencionados nesta seção, por não se aplicar diretamente ao estudo das interações de um sistema complexo. A seleção do método MICMAC se deve ao fato de seu objetivo central: a compreensão e a intervenção nas interações entre as variáveis de um sistema complexo.

Em relação à aplicação das ferramentas instituídas por Godet (1993) aos sistemas complexos, Smida (199-?) destaca a importância de utilizá-las com a intenção de modelar os sistemas o mais próximo da realidade. Nesse sentido, Godet (1993) observa que um sistema não é a realidade, mas um meio de enfrentá-la. Assim, o referido autor destaca que a análise sistêmica não passa de uma forma de pensamento em que o observador se observa enquanto observa um outro sistema. Smida (199-?) evidencia que uma representação fiel da realidade supõe preocupação em descobrir e expor a complexidade existente nos fenômenos, e não excluí-la. Por isso, com frequência, as técnicas clássicas recusam a complexidade e propõem

métodos simples que, ao invés de resolver os problemas da realidade, fornecem símbolos de soluções encontradas para as representações simplificadas da realidade.

Segundo Smida (199-?), a prospectiva segue dois passos importantes: (1) aceita a realidade complexa e reconhece os limites de suas próprias percepções e medidas; (2) utiliza as ferramentas da prospectiva, as quais permitem melhor compreensão dos fenômenos complexos.

3.4.5 P3TECH

A ferramenta P3tech foi desenvolvido por Gattaz (2000), visando modelar processos. Apesar de não mencionar diretamente a abordagem científica que fundamenta a ferramenta proposta, a construção dela segue princípios que permitem deduzir que o autor conhece e pode se fundamentar nos preceitos das Ciências da Complexidade. Por isso, considera-se a ferramenta P3tech como uma alternativa de intervenção nos sistemas complexos.

A idéia dessa ferramenta surgiu da observação do autor de que a maioria dos métodos para resolução de problemas desconsidera o contexto em que o problema está inserido, além de tentar separar a ordem da desordem e seguir uma visão linear que não descreve os fenômenos reais.

Para Gattaz (2000), um processo é compreendido como a interpretação das diferenças entre mudanças de um estado atual de um sistema para um estado futuro desejado. Segundo o autor, para perceber melhor a realidade, ou para estar em sincronia com a mudança, é preciso simular, emular e encenar a realidade, de modo a visualizar o máximo de riscos e escolher o menor. Por esse motivo, é preciso adotar um novo caminho que torne possível visualizar a diferença gerada pela mudança. Esse percurso consiste em representar a realidade de modo tridimensional (infra-estrutura, axiomática e atividade) e em aplicar os princípios da visão de mundo em processo.

Para definir a ferramenta P3tech, é necessário definir a sigla P3: processo, protocolo e protótipo; tech: tecnologia. O **processo** é representado pela inteligência da realidade, composta de três dimensões: **infra-estrutura**, **axiomática** e **atividade**, para a geração dos **valores adicionados** requeridos pelo **contexto**. O **protocolo** é o conjunto de regras de comunicação (**interação**) entre os elementos das três dimensões do processo. O **protótipo** concretiza uma **abstração** e permite **simulações**, **emulações** e **encenações** para redução de riscos antes de tornarem-se reais (GATTAZ, 2000; GATTAZ, 2001).

Conforme Gattaz (2000), o P3tech é composto de três instrumentos: *Parchitect*, utilizado na estruturação dos processos, do qual se obtêm subsídios para especificar a linguagem de mudança da realidade. Por meio dele, desenvolvem-se simulações cuja saída concretiza a abstração do contexto; O *Psynthesizer*, empregado para mapear os protocolos, gerando a linguagem da realidade. Corresponde a emulações, cuja saída é um objeto concreto derivado de uma abstração processada, representando a saída concreta da simulação. O *Pfingers*, usado para construir os protótipos e para comparar a linguagem concreta com a linguagem da realidade.

Gattaz (2000) argumenta, ainda, que, para modelar um sistema, empregando o P3tech, é necessário começar pela identificação do contexto e das mudanças ocorridas nele. Depois, é preciso determinar os valores que serão adicionados pelo processo, os insumos necessários à produção dos artefatos de saída, eliminando as atividades desnecessárias. A partir disso, cria-se uma visão futura desejada, em domínios individuais e coletivos, dos quais se escolhem aqueles que adicionam valor ao processo. Além disso, selecionam-se os princípios mais adequados ao sistema que será modelado, seguindo a lógica dos eixos (infra-estrutura, atividades, axiomática). Os eixos regem a distribuição dos princípios. O objetivo é perceber como os aspectos independentes cooperam entre si para adicionar valor ao ser humano. Assim, essa ferramenta se caracteriza por aplicar os princípios dos processos nas três dimensões do sistema (infra-estrutura, axiomática e atividade) e, a partir disso, equacionar os riscos, os desperdícios e as incapacidades resultantes da não-aplicação dos princípios nas três dimensões do sistema representado.

Além da visão de futuro, outras são empregadas: a visão métrica, que conjuga a visão futura com a escolha da linguagem para transição; a visão da estrutura; a visão da interface; a visão da abstração (o comportamento do processo); a visão do concreto; a visão de teste; a visão da interconexão com o ambiente externo e a visão de desenho, de mapeamento. Elas permitem identificar as interfaces e os elos entre processo e contexto.

O método desenvolvido por Gattaz (2000) possui os seguintes **princípios** básicos: co-evolução, proto-interação, inclusão, fracamente estruturado, paralelismo, unidade, mudança, reconhecimento, integração com energia zero, tempo zero, dualidade, autodefesa, reconstrução, exponencialização e contextualização. Os **eixos** são: infra-estrutura, axiomática e atividade.

Os conceitos são empregados para modelar os processos. A modelagem é a denominação dada ao procedimento que cria a representação da complexidade de um processo e permite simulações, geração de alternativas e otimizações. É a própria

representação gráfica da realidade. Os caminhos seguidos e os métodos utilizados no mapeamento dos processos são explicitados na modelagem. Ela permite entender as mudanças do processo, já que a representação compreende as alterações provocadas pelos efeitos colaterais nos três eixos (GATTAZ, 2000).

3.4.5.1 Os princípios básicos

Os princípios do P3tech são os direcionadores da construção da modelagem de processos. Segundo Gattaz (2000), existem, atualmente, quinze princípios, mas esse número não é fixo, podendo ser alterado de acordo com o reconhecimento de novos princípios em estudos realizados.

A **Co-evolução**: a solução redefine o problema, dá um novo contexto à realidade. O contexto ao qual pertence o problema se refaz, não necessariamente, com as mesmas partes que o levaram à solução. Quando um conjunto de funções interage para produzir um objetivo, o próprio objetivo provoca mudança nas funções estabelecidas, que, por sua vez, já não são as mesmas.

A **Proto-interação**: um dos princípios que torna confortável a visão de processo é a possibilidade de errar, perfazendo o conceito da proto-interação. Pode-se errar sem inibição. A incerteza traz riqueza imaginativa, a qual estimula a elaboração de protótipos, de emulações, que são exercitados de forma interativa para visualizar melhor o problema. Cria-se uma imitação da realidade, para melhor compreendê-la.

A **Inclusão**: consiste em admitir que todas as formas possíveis de expressão da realidade podem ser vistas como uma única realidade. Os caminhos que levam a diferentes conflitos ou a diferentes inconsistências geram diferentes realidades no contexto de uma representação abstrata, formando uma única realidade. Para percebê-la, é necessário incluir várias visões e diferentes maneiras de ver o mundo.

A **Estrutura fracamente estruturada**: a estrutura é flexível, o que confere ao observador, que possui a visão de processo, uma posição confortável. Pode-se adicionar ou mudar o valor que se quer adicionar sem que se esteja limitado pela estrutura existente. Esse princípio recomenda que a estrutura deve ser vista como uma variável a ser monitorada conforme o valor que se quer adicionar.

O **Paralelismo**: busca reconhecer o caráter recorrente dos processos e, também, o efeito colateral dos processos duais. Os efeitos colaterais dos processos duais são paralelos e cooperam entre si, mas não são auto-suficientes. Com o paralelismo, satisfaz-se, ainda, o princípio da co-evolução; percebem-se os efeitos colaterais de um processo sobre outro, conforme o contexto estabelecido. Esse contexto novo, ou antigo, define o comportamento dos processos. Estes, sendo paralelos, podem comunicar-se entre si por meio do contexto. Perceber um novo contexto é ver uma comunicação entre eles e, portanto compreender a sua co-evolução. Quando se desconsidera um processo, ou não são explicitados no contexto, apesar de existir, sua co-evolução gera comportamentos inesperados, que estimulam o reconhecimento do paralelismo.

A **Unidade**: a unidade é o ser humano. Nada mais é unidade. Qualquer outra coisa é coisa. O ser humano é o próprio contexto, que gera outro contexto que descreve o ser humano. O ser humano é uma possibilidade infinita de modos contextuais de existir, de estabelecer novas pontes de acesso à realidade. É a unidade que lhe permite reconhecer-se nas diferenças entre esses modos de existir.

A **Mudança**: enunciar o princípio da mudança é estabelecer que tudo é contextual. A isso se opõe a lógica, formada pelo conjunto de regras válidas, apenas, em situações livres de contexto, ou seja, inexistentes na vida real. As abstrações da lógica não mudam, porque ligam proposições a proposições e não estados de mudança a estados de mudança. Já uma pessoa em contato com outra pessoa co-evolui, porque é fruto de um estado de mudança. Quando se considera que tudo é contextual, lida-se com a mudança. E quando se percebe a mudança, os objetos não têm o menor valor, porque não é ao objeto que o ser humano se subordina, mas à mudança da mudança da mudança...

O **Reconhecimento**: a independência entre um ser e outro, requerida pelo princípio do reconhecimento, satisfaz ao princípio do paralelismo: um indivíduo A em relação ao sujeito B é independente do indivíduo A em relação ao indivíduo C, mas esses indivíduos apresentam efeitos colaterais uns sobre os outros. O princípio do reconhecimento distingue-se do princípio da inclusão. Este opera na direção oposta, levando o sujeito a incluir na sua própria visão a visão de outro, enquanto o princípio do reconhecimento leva o sujeito a instalar-se na visão de outro, abstraindo tanto quanto possível a própria visão.

A **Integração com energia zero**: todas as variáveis estão inclusas no entendimento da realidade, são elas que a constituem. Não estão separadas, nem podem ser separadas. Se for necessário despende esforços para integrá-las, não é a realidade. Na maioria, o que se apresenta como variáveis carentes de integração são artificios, ao invés da realidade. As realidades integram-se por definição, já que são unas, por isso não exigem dispêndio de energia para se integrar.

O **Tempo zero**: o contexto define o problema. O problema e a sua solução devem se encontrar no mesmo contexto. Admitido-se isso, ao se entender e validar um problema, automaticamente tem-se a solução. Daí resulta um ganho de tempo não somente no entendimento do problema, mas também no intervalo entre a tentativa de solução e colocação da solução na prática.

A **Dualidade**: auxilia na visualização do valor a adicionar gerado pelo processo; possibilita perceber a inadequação da visão funcionalista e a riqueza da visão de mundo em processo. O mundo funcionalista pressupõe a linearidade das relações de causa e efeito. Corresponde à ilusão de que toda transformação é orientada por leis causais, que levariam a um futuro predeterminado, no qual tudo estaria previsto desde o momento inicial. Sua variante probabilística, supostamente atenuante da onisciente visão divina, não escapa ao mesmo modelo: a verdade de caráter estatístico é tomada como sinônimo da realidade conhecida; como tal, é utilizada para antecipar o reconhecimento de eventos futuros.

A **Autodefesa**: busca fazer da arte da guerra a arte da paz. Na linguagem corrente, entende-se defesa como a agressão da defesa, o contra-ataque. Na visão de mundo em processo, estar em estado de autodefesa é estar numa situação de não precisar se defender. O militar aprende que a construção da defesa é necessária para inibir o ataque. A inibição ao ataque é um processo que está em busca da autodefesa. Quando se considera em estado de autodefesa, não há necessidade de nenhum processo para se defender, porque o ataque não consegue atingir o estado de autodefesa.

A **Reconstrução**: a realidade não pode ser fragmentada, por isso não basta, simplesmente, desmembrar um problema em subproblemas para estudá-lo. É preciso dividi-lo, mas sem deixar de perceber as frações que interagem no contexto. Para reconhecer a que contexto pertence cada fração, é necessário imaginar a unidade de integração, o ser humano. Assim, consegue-se conquistar o todo, porque, ao dividir o problema, contempla-se, ao

mesmo tempo, a referência una e múltipla. Logo, as soluções dos subproblemas estão naturalmente integradas à solução do problema maior.

A **Exponenciação**: a realidade não é linear, é exponencial. Na Matemática, aprende-se que exponencial é x elevado a y . Na visão tridimensional, qualquer elemento novo da produção é base de exponenciação para os elementos que não se conhecem e qualquer expoente pode converter-se em base. A referência do contexto é uma base cuja atividade é um expoente.

A **Contextualização**: a aplicação de qualquer um dos princípios já conhecidos não garante aderência à realidade, ou seja, não impede que se esteja deslocado da realidade. O princípio da contextualização existe para evitar o risco de não perceber a riqueza da inteligência da realidade, ao ressaltar a diferença recorrente entre a abstração e a realidade.

Para serem aplicados com eficácia, Gattaz (2000) desenvolveu eixos ou dimensões que funcionam como base para os princípios direcionadores dos processos.

3.4.5.2 Os Eixos

Para trabalhar tais princípios, emprega-se a visão tridimensional da realidade. O eixo da **atividade ou eixo funcional**, no qual acontece a ação; nele são consideradas as funções da organização do sistema e seus relacionamentos na obtenção dos valores requeridos pela realidade. O segundo eixo da representação tridimensional é o da **infra-estrutura** ou eixo dos recursos, também conhecido por eixo da álgebra. Esse eixo é formado pelo comportamento dos recursos: humanos, financeiros e de capital, conforme requeiram os valores a serem adicionados e de acordo com os conceitos tecnológicos utilizados. O terceiro eixo é o **axiomático**, ou seja, as regras, as normas, a legalidade às quais a atividade se submete. Nessa dimensão da comunicação (gestão, referência), consiste a explicitação das regras que exprimem os valores que orientam a realidade.

Cada eixo é distinto e independente dos demais. Os recursos materiais e intelectuais utilizados são diferentes das regras obedecidas, da mesma forma que a atividade de construir o objeto é distinta e independente dos recursos ou das regras que se utilizou. Os eixos são independentes e distintos, porque os recursos podem ser utilizados de diferentes formas para

gerar processos diversos, e as regras podem converter-se em outras, no caso de serem gerados outros processos.

Gattaz (2000) estabelece que, a partir do equacionamento dos eixos com os princípios, segue-se identificando os protocolos de comunicação, determinando-se as regras que transformam insumos em valores adicionados e as leis que regem os processos. Para identificar as referências orientadoras do processo de transformação dos insumos e decompor o eixo da infra-estrutura em subprocessos, essa decomposição deve seguir até atingir o nível dos componentes elementares, que pode ter mais de uma função, mas somente um valor adicionado. Para isso, podem ser utilizadas três técnicas: *breadth first (FIFO: First-in First-Out)*, *depth first (LIFO: Last-in First-out)* e paralela. A primeira consiste em dividir um problema em todos os subproblemas possíveis até atingir um nível de abstração inferior ao nível em que o problema está sendo analisado, prosseguindo até que não haja mais possibilidade de divisão; a segunda recomenda abordar um subproblema como parte de um problema maior, depois um subproblema do subproblema anteriormente abordado e assim sucessivamente, até que não haja mais nenhum subproblema, repetindo-se esse procedimento em todos os níveis do problema analisado. A terceira recomenda o uso das duas técnicas (*breadth first*, *depth first*) ao mesmo tempo.

Para que cada um dos eixos possa cooperar com o objetivo de promover a mudança de estado, é necessário que eles se comuniquem entre si por meio do sujeito, que possui outras interfaces passíveis de interpretação. Essas interfaces são denominadas de **protocolos**, sem os quais, não haveria comunicação entre os recursos (infra-estrutura), as regras (axiomática) e a atividade (função) de construção do objeto. Os protocolos de cada um dos três eixos compõem um protocolo mais amplo, que integra os demais protocolos e se traduz na idéia de processo.

Um protocolo permite a dois interlocutores interagirem e se entenderem na conversação. A condição inicial para a interação e o entendimento é que a referência ao problema maior seja mantida quando este for fragmentado em subproblemas. Isso facilita, mas não elimina a complexidade, pois a complexidade não se elimina nem se adiciona, ela existe. Não é algo que se possa reduzir ou ampliar. Pode-se facilitar o entendimento conforme o interlocutor. O que se relaciona com a facilidade e a dificuldade, não com a simplicidade e a complexidade. A medida da complexidade existe, apenas, em relação as interações, às

dependências e aos efeitos colaterais entre o problema e o contexto, o qual é definido pela visão de mundo do observador.

Para Gattaz (2000), um problema deve ser visto em três dimensões; cada dimensão pode se sobressair mais ou menos, dependendo do contexto; cada dimensão é formada, por sua vez, por três dimensões; e assim até o infinito. Como não é possível tratar todas as dimensões que assumem um problema, em razão da própria racionalidade limitada do ser humano, evidencia-se, para fins de estudo, um conjunto que seja relevante para a compreensão do problema. Esses três eixos atuam de forma concorrente e, em paralelo, em direção a um estado de mudança.

O contexto é a referência nas três dimensões, é a referência no eixo da atividade, é a referência no eixo da axiomática, é a referência no eixo da infra-estrutura. É natural que, na interação, entre os processos, ocorram várias referências concomitantemente, muitas delas conflitantes entre si. Quanto maior a diversidade e riqueza de conflitos, mais rica e diversa é a realidade. O ser humano é o contexto, por meio do indivíduo, que o contexto co-evolui conforme o ritmo do próprio contexto. O ser humano interage consigo mesmo, reconstrói, co-evolui; é tempo zero sem reengenharias, porque consegue reutilizar-se em contexto.

Na visão do mundo em processo, o ser humano é, portanto, o ponto em que tudo termina e tudo começa. Qualquer processo, sem exceção, terá como referência maior a adição de valor ao ser humano. Nessa visão, todo processo tem como referência a adição de valor ao ser humano.

Gattaz (2000) destaca que o descompasso, no desenvolvimento das atividades, ou a falta de sincronia entre os processos, provoca “filas de espera” em certos pontos do sistema. Estas mostram o comportamento dos operadores de cada atividade. Quando é simulada uma operação no processo, as filas de espera demonstram se e quanto o processo satisfaz o cliente. O tamanho delas permite quantificar a complexidade. Mostra, ainda, as ações que podem melhorar uma situação concreta em direção a conformidade com a realidade. A cada artefato que se produz, como saída dos componentes de um processo, percebe-se melhor o aumento da complexidade do ambiente, melhorando a abstração dessa realidade, o que significa modificar o protocolo (meios de comunicação).

3.4.6 SIMULAÇÃO BASEADA EM SISTEMA DE MULTIAGENTES (MAS)

A origem da simulação baseada em sistemas de multiagentes (MAS), é atribuída à percepção de que muitos métodos de análise desconsideram as regularidades emergentes na dinâmica do sistema, fato que reduz a capacidade de intervenção do modelador. Por isso, Villegas (2001) propõe uma simulação baseada em sistema de multiagentes (MAS) que considere as emergências surgidas na trajetória do sistema.

A simulação baseada em sistemas de multiagentes (MAS) é uma ferramenta que pode ser empregada em domínios que estudam os fenômenos, considerando a fronteira de racionalidade do sujeito e pode ser usada na modelagem de sistemas complexos (VILLEGAS, 2001).

A simulação baseada em MAS gera, a partir da simulação computacional, a dinâmica do sistema complexo. Isso ocorre como resultado da interação entre os simples agentes do sistema. A idéia é que surge um comportamento complexo que pode ser observado nos sistemas empíricos, como produto das interações individuais.

Nesse sentido, Villegas (2001) destaca que, usualmente, a simulação baseada no MAS exhibe uma dinâmica muito complexa, fato que concentra a atenção do modelador, mas também dificulta a compreensão. Assim, reduzir a dificuldade em capturar o comportamento desses sistemas pode ser a chave para compreendê-los, tornando-se uma tentativa das ferramentas que usam o processo de simulação.

O autor apresenta dois meios formais de simulação computacional, usualmente conhecidos e empregados para tentar compreender a dinâmica de funcionamento dos sistemas complexos. O primeiro é a *projeção ou desenho* e o segundo é a *observação* da dinâmica usada na análise *post hoc*.

Segundo Villegas (2001), no MAS, é possível prospectar procedimentos com base nos modelos formais de comportamento do agente. Eles podem auxiliar o modelador a compreender o comportamento dos agentes individuais. Os procedimentos componentes dos modelos formais apresentam limitações para compreender o comportamento dos grupos de agentes autônomos. Até a mais rigorosa prospecção pode exibir um comportamento imprevisível, pois as simulações dinâmicas adquirem um sutil estado de transição e um amplo número de dados de transição. Além disso, são associadas a essa limitação o fato de que os sistemas simulados no MAS apresentam alto nível de complexidade, enquanto o modelador possui uma barreira de racionalidade que limita a percepção do nível de complexidade.

Segundo Domingo et al.(1996), por causa da barreira de racionalidade do modelador, a simulação é analisada pelo uso da dinâmica *post hoc*, que se tornou a mais usual abordagem para estudar o MAS. Entre as metodologias existentes para realizar a análise *post hoc*, estão: análise de cenário (Godet, 1993; Domingo et al.,1996), na qual o objetivo do MAS é investigar o sistema numa simples trajetória no tempo e a abordagem de Monte Carlo (Zeigler,1976), na qual o MAS é repetidamente rodado. Nesse processo, informações estatísticas são coletadas, pelo método Monte Carlo, sobre as tendências gerais exibidas pela trajetória do sistema.

Villegas (2001) observa que nenhum desses caminhos formais de analisar a dinâmica dos sistemas complexos é satisfatório para a simulação baseada em sistemas de multiagentes. Por um lado, porque é, usualmente, proibido, em termos de recursos computacionais, explorar trajetórias usando uma simples avaliação de cenário. Além disso, seu uso está restrito a certas “arbitrariedades” e trajetórias selecionadas subjetivamente. A análise de cenário, por um lado, pode ajudar, por expor as possibilidades possíveis da dinâmica de simulação do sistema; por outro, a ferramenta de análise de simulação Monte Carlo é aplicada usando o contexto das trajetórias. Em consequência disso, uma exploração arbitrária de trajetórias é aplicada à modelagem do sistema. Essa ferramenta emprega suporte estatístico com generalizações probabilísticas, com comprovações válidas e não-matemáticas. Portanto, a utilidade da análise de cenário e do método Monte Carlo, nas aplicações teóricas, são limitadas, pois não oferecem respostas definitivas, e sim probabilísticas.

Villegas (2001) conclui que é necessário avançar na busca de novas ferramentas computacionais que permitam explorar com mais rigor a dinâmica das simulações em sistemas complexos. Nesse sentido, o objetivo de Villegas (2001) é desenvolver uma ferramenta que considere as tendências emergentes do sistema, a ligação desta com o conhecimento do sujeito, a capacidade cognitiva do observador e a complexidade objetiva. Em outras palavras, o autor busca incorporar, na simulação dinâmica, a dicotomia entre sujeito e objeto, enfatizando a barreira de racionalidade inerente ao sujeito.

Para intervir no sistema complexo, Villegas (2001) inicia por evidenciar e tratar as seguintes características do sistema:

- 1) **O sistema está subordinado à barreira de racionalidade do sujeito.** A barreira de racionalidade está em função da visão de mundo do sujeito, da capacidade cognitiva e das experiências vivenciadas por ele. Os agentes possuem crenças e conhecimentos diferentes que podem ser compartilhados na modelagem, processo que pode levar a tendências emergentes;

- 2) **Causas objetivas da complexidade e níveis da complexidade.** O autor institui quatro níveis hierárquicos de evolução da complexidade: sistemas inanimados, sistemas adaptativos, sistemas autoconscientes e meta-ser (ver Capítulo 2, seção 2.4.3.5). Na modelagem, o sistema é enquadrado no nível mais apropriado as suas propriedades. Esses níveis são formulados com base na hierarquia de evolução instituída por Heylighen (1991), detalhada no Capítulo 2, seção 2.4.3.4. A classificação dos sistemas, de acordo com o nível de complexidade, é proposta por Villegas (2001) com o objetivo de auxiliar os seres humanos no controle da variedade e na redução do nível de subjetividade do conhecimento humano. Para isso usa a estocagem, a transmissão e o processamento de informações. A idéia é aumentar a capacidade de racionalidade humana, indiretamente, pelo uso de mecanismos computacionais capazes de captar e processar informações e, a partir disso, abstrair e filtrar as informações, de acordo com os objetivos individuais.
- 3) **Noção subjetiva da complexidade.** O conhecimento é relacionado à linguagem do sujeito. Os sistemas são denominados como simples, complexos ou emergentes, dependendo do julgamento feito pelo modelador. Isso pode ser evidenciado pelas diferentes concepções de complexidade encontradas na literatura. Essas abordagens foram sistematizadas na Capítulo 2, seção 2.1 deste trabalho. Edmonds (1999) aponta a existência de muitas interpretações equivocadas do termo “complexidade”. Ele argumenta que a complexidade pode ser diferenciada de outras noções que dificultam o entendimento, tais como: tamanho, número, ignorância, variedade, aleatoriedade, expressividade, irreduzibilidade, dimensão e ordem. Para o autor, o conceito de complexidade é intimamente relacionado à noção de barreira de racionalidade do sujeito e à identificação da linguagem utilizada por ele.
- 4) **Tendências emergentes.** Villegas (2001) destaca que as emergências podem ser observadas sob dois pontos de vista: objetivo e subjetivo. No aspecto **objetivo**, as emergências mais significativas são derivadas da natureza das mudanças a que o sistema é submetido. Para um sistema que experimenta, apenas, mudanças quantitativas, supostamente é mais fácil de compreender que os sistemas que sofrem mudanças qualitativas (estruturais). Um exemplo de uma mudança estrutural ocorre quando um novo controle surge num sistema, trazendo um nível de complexidade mais alto. Nesse caso, um fator adicional à complexidade objetiva e à emergência é o grau de associação dos componentes do sistema, isto é, o grau de dependência das propriedades globais do sistema nas propriedades dos componentes. O grau de dependência pode estar associado à reversibilidade das propriedades, tanto do sistema global, como dos componentes,

considerando a desagregação e a agregação dos componentes. Quando os componentes são separados da globalidade do sistema, as propriedades das partes podem ser alteradas, mas não poderão ser resgatadas. No aspecto **subjetivo**, a emergência pode ser relacionada à subjetividade do modelo cognitivo do sujeito. A idéia geral é que o sujeito considera uma certa tendência percebida como emergente. Isso acontece se, havendo informações sobre os componentes do sistema, o sujeito tem dificuldade para explicar a tendência emergida. Villegas (2001) apresenta um exemplo, considerando um sujeito (S), que usa as linguagens L1 e L2 para raciocinar sobre um fenômeno percebido num objeto (O), definido como um sistema num certo nível de complexidade. Pode-se dizer que uma certa tendência observada por (S) no sistema (O) é emergente quando as descrições dadas na linguagem (L2) são usadas pelo sujeito para expressar um padrão global num objeto, mas não são suficientes para descrever na linguagem (L1), a qual o sujeito usou para descrever o projeto da simulação do sistema.

A partir da determinação das características do sistema, Villegas (2001) estabelece que o funcionamento dele está relacionado à exploração da simulação nas trajetórias assumidas. A modelagem tem a intenção de auxiliar o modelador a compreender adequadamente os interesses da simulação. Para isso, busca entender os objetivos do sistema, além de compreender como os agentes atuam no sistema, o que leva a orientações informativas e instrutivas. Assim, como discutido nos parágrafos anteriores, a simulação baseada em sistema de multiagentes (MAS), que utiliza as ferramentas formais de análise de cenário e a análise estatística, não é suficiente para captar as tendências emergentes dos sistemas complexos, por esse motivo Villegas (2001) enfatiza que, para simular um sistema complexo, é necessário considerar algumas questões:

- gerar diferentes trajetórias através de mudanças nos parâmetros do modelo;
- diferentes parâmetros e escolhas estão ligados a causas não-determinísticas que, por sua vez, estão relacionadas à hierarquia dos níveis de complexidade do sistema, como demonstrado pela autonomia e imprevisibilidade exibidas no sistema;
- usualmente, escolhas serão representadas por uma alternativa de ação disponível para os agentes, cada uma das quais se torna um ramo na simulação; cada alternativa de escolha representa diferentes trajetórias de simulação;
- compreensão lógica da linguagem da simulação.

Villegas (2001) destaca que a lógica de funcionamento do modelo segue uma hierarquia, iniciada com a determinação de uma **assinatura**, que reúne previsões e constantes funcionais. A determinação da **linguagem da modelagem** é composta de um conjunto de termos e fórmulas geradas por meio de regras sintáticas e cálculos previstos. A **estrutura** que compõe um conjunto de fórmulas de linguagem é relativa a esta. Os **axiomas** da teoria são compostos por um conjunto de fórmulas definidas pela teoria empregada. O **Teorema da teoria** segue a lógica do axioma definido nela. A lógica do modelo da teoria é a estrutura para a qual todas as fórmulas da referida teoria são válidas. A lógica de funcionamento é ilustrada na Figura 9.

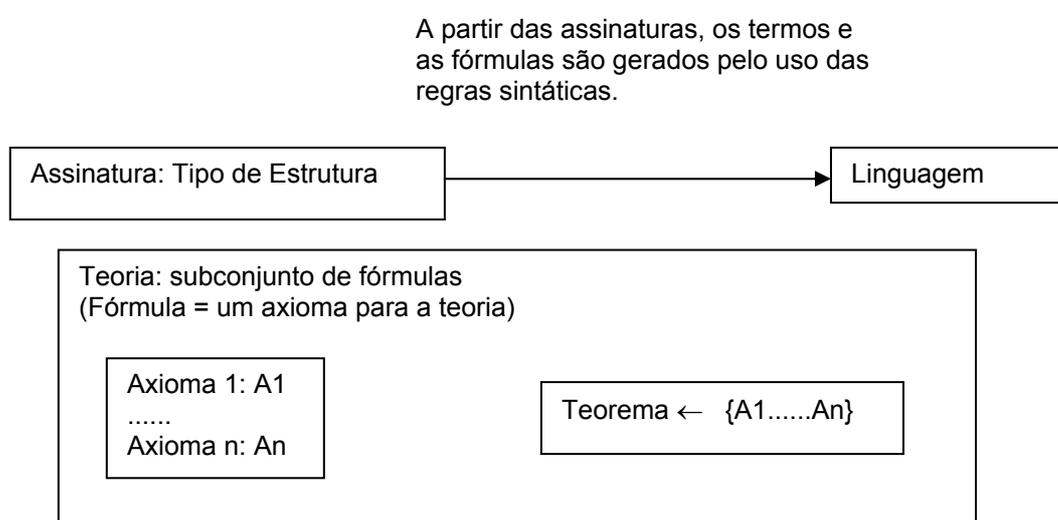


Figura 9: Representação das relações entre os conceitos da lógica de funcionamento da modelagem. **Fonte:** Villegas (2001, p.54)

Villegas (2001) faz uma pesquisa por diversas linguagens e lógicas de programação com o objetivo de encontrar alternativas mais realísticas e que possam captar a dinâmica emergente da simulação de sistemas complexos. O autor observou que existe carência de metodologias e ferramentas apropriadas para explorar e analisar a dinâmica das simulações, que, segundo Edmonds (1999), tentam gerar certas tendências complexas na dinâmica da população e no comportamento dos agentes. Isso acontece como resultado da interação dos agentes individuais, em que o comportamento imprevisível dos indivíduos e a imprevisibilidade das tendências no comportamento da população podem surgir.

Por isso, Villegas (2001) propõe um caminho alternativo para explorar e analisar a simulação dos sistemas baseado em multiagentes (MAS). Ele se fundamenta na sistematização e na automatização que envolvem todas as possíveis trajetórias num fragmento substancial da teoria da simulação. Esta funciona como um complemento dos métodos

existentes. A proposta é uma completa busca de trajetórias através de uma cadeia de parametrizações e escolhas dos agentes. Esse tipo de busca corresponde à lógica do modelo de exploração do teorema *Provers*.

O teorema *Provers* foi desenvolvido usando a noção de busca semântica, particularmente, *tableaux*, na qual todas as possibilidades devem ser conferidas individualmente antes da seleção final. Segundo Villegas (2001), o uso do *tableaux* é mais eficiente, por considerar, apenas, as interpretações que podem fazer valer determinadas cláusulas, ao mesmo tempo, em que é orientado por elas. Nesse sentido, Bonacina (1999) argumenta que, em essência, o *tableaux* é uma pesquisa de possíveis interpretações para um sistema, na qual cada ramo representa uma interpretação. A idéia é gerar um ramo para cada interpretação válida. Quando surge um contraditório, ele é fechado.

Para executar a busca semântica, é necessário o uso de dois teoremas. Villegas (2001) destaca o teorema SATCHMO (SATisfiability CHEcking by MOdel generation) e o teorema PTP (Prolog technology theorem-prover). Ambos se baseiam na lógica do modelo de busca, auxiliado pelo OTTER, que é um teorema de demonstração usado para simular um sistema multiagente, que possui estratégias “corrente acima,” e pela linguagem SDML (*Strictly Declarative Modeling Language*) que facilita o processo de simulação das trajetórias do sistema.

Villegas (2001) apresenta os critérios utilizados para gerar trajetórias de simulação. O **SATCHMO** é usado para gerar subobjetivos estratégicos, considerando o fluxo de informações “corrente abaixo”. Ele combina o modelo de lógica semântica de busca com a ruptura. O **OTTER** parte de uma suposição com base no fluxo de informação “corrente acima”. Para isso, usa procedimentos com cláusulas sintáticas de orientação que resultam em geração de trajetórias explícitas. A **simulação dirigida a eventos** destaca que, usualmente, a simulação segue o fluxo de informações “corrente acima” e a lógica de modelo orientado. É raro encontrar uma linguagem de simulação que implemente divisões em ambos os aspectos, implícitos e explícitos. Isso porque experimentações, usando a dinâmica das simulações, geram tentativas individuais com escolhas explícitas, levando a diferentes combinações de fatores pelo processo de tentativa e erro. Como a simulação é um modelo que segue a lógica da busca, ela pode ser interpretada como um *tableaux*, no qual nem todos os fatos podem ser deduzidos, alguns são desconhecidos.

O **SDML**, como a maioria das linguagens de simulação, segue uma lógica “corrente acima” com uma linguagem orientada. A linguagem desfruta de facilidades para se dividir e retroceder e, não necessariamente, está comprometida em gerar todas as cláusulas válidas num modelo lógico. O estado de transição das regras segue uma ordem dada pela hierarquia dos agentes, a hierarquia dos níveis no tempo e, finalmente, a divisão das regras no espaço conforme as dependências dele.

Percebe-se que Villegas (2001) introduz novas idéias para modelar sistemas com multiagentes de modo a evidenciar as diferentes trajetórias e as interações entre os agentes. O autor estabelece que a simulação pode assumir três formas: de um evento dirigido, por diferenciações finitas ou por sistemas baseados em multiagentes. Essas formas podem ser vistas como lógicas parciais de geração de modelos. Na trajetória, é produzido, somente, um conjunto parcial de fatos contidos no modelo lógico correspondente à trajetória. O conjunto parcial consiste dos fatos que são relevantes, por isso são requeridos pelo modelador como saídas, ou são requeridos em função da necessidade em gerar uma simulação em graus de transição. Por isso, o autor busca uma modelagem que analise a emergência de tendências na simulação, explorando um subespaço no espaço da trajetória. Para tanto, emprega como base um modelo de busca de restrições, no qual as restrições serviriam de suporte para os parâmetros de seleção e escolha. Conseqüentemente, as conclusões resultantes e comprovações seriam válidas além da teoria, sob justificativas apropriadas, podendo ser extrapoladas para toda teoria da simulação.

3.4.7 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A AGENTE - EXEMPLO: STARLOGO

O *Starlogo* é um programa computacional de simulação para modelagens baseadas em agentes (AXELROD,1997). Ele foi desenvolvido no Instituto Santa Fé, em Michigan, USA, com o intuito de modelar sistemas complexos a partir de regras simples. O programa visa capacitar professores, os quais ensinaram, a estudantes, como compreender o funcionamento dos sistemas complexos. Como base usam a lógica dos sistemas naturais para fundamentar as simulações.

O *Starlogo* originou-se de outro programa computacional, o *Logo*. O *Logo* é uma linguagem de programação empregada, geralmente, em escolas elementares e secundárias (PAPERT, 1980). Na versão tradicional do *Logo*, os estudantes criam padrões geométricos e

animações por meio de comandos dados a uma tartaruga gráfica na tela do computador. Essa tartaruga pode ser usada para representar qualquer tipo de objeto: uma formiga, um carro, uma molécula. A versão tradicional é limitada por possuir apenas um pequeno número de tartarugas. Assim, para suportar a modelagem descentralizada, o *Starlogo* possui milhares de tartarugas, e todas elas podem desempenhar as próprias ações simultaneamente e em paralelo. Por esse motivo, as tartarugas do *Starlogo* possuem maior capacidade de percepção, elas podem detectar objetos no seu ambiente local. No programa, o mundo das tartarugas é dividido em pequenas seções quadradas, denominadas zonas, nas quais crescem pastos, onde as tartarugas podem procurar comida para se alimentar.

Diferentemente de muitos outros programas de modelagem, o *Starlogo* permite uma observação direta das ações individuais e dos padrões exibidos por grupos de indivíduos que emergem das ações individuais. A natureza espacial do programa e sua representação visual possibilitam perceber os objetos, ao invés de visualizar, apenas, as abstrações dos objetos (COLELLA, KLOPFER E RESNICK, 2001).

Segundo Colella, Klopfer e Resnick (2001), o objetivo da linguagem do *Starlogo* é auxiliar as pessoas a criar modelos de sistemas descentralizados. Em outras palavras, sistemas nos quais os padrões emergem de interações entre muitos objetos individuais. Sistemas descentralizados são muito comuns no mundo, mas não são fáceis de perceber e compreender. Por isso, o *Starlogo* é utilizado como uma ferramenta para intervir em sistemas complexos e descentralizados.

Observando os sistemas naturais como, por exemplo, um bando de pássaros em revoada, chama a atenção como eles conseguem manter movimentos tão ordenados e sincronizados, sem um planejador central. Os pássaros seguem regras simples, reagindo conforme o movimento do pássaro mais próximo. O padrão ordenado do bando surge dessa interação local.

Colella, Klopfer e Resnick (2001) destacam que o *Starlogo* pode ser utilizado para modelar muitos fenômenos da vida real, tais como um bando de pássaros, um engarrafamento, uma colônia de formigas, uma colméia e o mercado econômico. A modelagem funciona a partir da determinação de regras simples para os objetos (considerados como seres vivos) individuais. Com isso, é possível investigar o comportamento coletivo do sistema. O modelo, freqüentemente, exibe um comportamento em nível de sistema que não é evidente pela observação das regras individuais estabelecidas. O comportamento em nível de sistema é emergente, porque ele surge das interações entre os indivíduos.

Segundo Colella, Klopfer e Resnick (2001), as características básicas para construção do Starlogo são as tartarugas e o alimento. As premissas para a evolução são as tartarugas que se alimentam e reproduzem, e as tartarugas que não se alimentam e morrem. Contudo, é introduzida, em cada tartaruga, uma herança genética que as diferencia em nível de aptidão, o que pode torná-las mais ou menos aptas a encontrar a comida.

Essa é uma modelagem que segue a lógica predador-presa, em que a tartaruga representa o predador, e o alimento representa a presa. A modelagem é baseada num conjunto de equações diferenciais denominadas equações Lotka-Volterra. O uso dessas equações pressupõe que as mudanças na densidade da população de presas (n_1) e, a mudança na densidade da população de predadores (n_2) podem ser descritas pelas seguintes equações diferenciais: $dn_1/dt = n_1 (b - k_1n_2)$ e $dn_2/dt = n_2 (k_2n_1 - d)$ onde (b) a taxa de nascimento de presas, (d) é a taxa de mortes de predadores e k_1 e k_2 são as constantes. Essas equações formam a base para escrever um programa computacional que computa como a densidade populacional de predadores e presas variam no tempo (LOTKA,1956).

Dessa forma, Colella, Klopfer e Resnick (2001) destacam que o conjunto de equações Lotka-Volterra é muito usado em modelagens tradicionais e em estudos relacionados ao comportamento de todos os tipos de sistema. O objetivo é resolver os problemas de forma analítica e numérica. Esse tipo de abordagem requer um avançado treinamento matemático, o que geralmente só é alcançado em estudos universitários. O uso das equações diferenciais, de modo tradicional, funciona seguindo dois caminhos muito impessoais. O primeiro depende de manipulações de símbolos abstratos. O segundo trata com quantidades agregadas, ênfase das quais se dá nas mudanças ocorridas no nível global do sistema, desconsiderando as mudanças ao nível individual.

Os autores estabelecem que o Starlogo, ao contrário, foi desenvolvido para ser mais acessível aos estudantes, fornecendo uma forte conexão pessoal com a compreensão do modelo. Seu funcionamento está diretamente ligado às ações e interações individuais dos objetos. A intenção é descrever como os objetos individuais se comportam, já que os estudantes podem imaginar eles próprios sendo modelados e, portanto, como sairiam de determinada situação. Assim, por descrever e observar a dinâmica dos objetos em nível individual, ao invés de níveis agregados de densidades populacionais, os estudantes podem compreender mais facilmente os padrões que emergem das interações.

Em relação às aplicações do *Starlogo*, Axelrod (1997) evidencia o uso eficaz para modelar sistemas descentralizados, tais como: o vôo de um bando de pássaros, um

engarraamento e o trabalho em uma colônia de formigas. O *Starlogo* foi projetado, especialmente, para o uso de estudantes, sendo uma ferramenta útil para esse propósito. Embora não tenha sido projetado para pesquisadores profissionais, fornece um caminho fácil para iniciar uma modelagem baseada em agentes para iniciantes programação em computacional.

3.4.8 OUTRAS FERRAMENTAS DE MODELAGEM COM BASE EM SIMULAÇÕES

Axelrod (1997) destaca que, além do *Starlogo*, existem algumas outras ferramentas de simulação mais sofisticadas, podendo ser empregadas para modelar sistemas complexos com base em modelos de agentes. Para isso, é necessário conhecer as linguagens de programação que orientam tais ferramentas.

Enquanto o *Starlogo* é projetado para uso de estudantes, o SWARM, por exemplo, requer um considerável nível de sofisticação na linguagem de programação. O ambiente de programação SWARM é utilizado por programadores avançados e fornecem um rico conjunto de ferramentas para a modelagem baseada em agentes. Ele permite hierarquizar os agentes, oferece um completo controle da escala de eventos e investiga a comunicação do estado atual dos agentes e seu ambiente. O sistema necessita para funcionar, de um ambiente UNIX e requer programação C.

Nesse sentido, Axelrod (1997) argumenta que muitos modeladores preferem trabalhar com ferramentas que possuam propósitos gerais, que tenha uma linguagem de programação compilada e padronizada. Sua preocupação é com o conhecimento das linguagens de programação e com a seleção delas. Ressalta que existem muitos tipos de linguagens de programação, mas lembra algumas mais comuns: a Basic, a FORTRAN, a Pascal e a C.

A linguagem **Basic** foi projetada para principiantes, talvez seja a linguagem mais simples de usar. É adequada a pequenos projetos, já usualmente funciona, tão lenta quanto outras linguagens de projetos envolvendo grande quantidade de computação. As versões anteriores ao *Basic* eram quase rudimentares, mas as versões recentes são bem desenvolvidas e apresentam bom desempenho no uso.

A linguagem **FORTRAN** é antiga e não é conveniente usar. Por causa do tempo no mercado e da sua popularidade, muitos programadores são familiarizados com a linguagem, por isso muitos programas mais antigos estão disponíveis em linguagem FORTRAN. Um programador iniciante, por desconhecimento poderia defini-la como uma das mais modernas linguagens.

A linguagem **Pascal** foi projetada com o objetivo de ser a primeira linguagem para programadores profissionais. Ela é fácil de aprender e é estruturada para estimular bons hábitos de programação. Muitas programações ainda são feitas em linguagem Pascal.

A linguagem **C** é a mais comum entre os programadores profissionais. Foi projetada para permitir uma conversação relativamente fácil entre diferentes tipos de computadores. Essa linguagem inclui muitos atalhos, facilitando o aprendizado do programador iniciante, a disponibilidade dos quais pode dificultar a compreensão de alguns códigos C. Além da linguagem C ser muito popular em comparação a outras linguagens, é a base da mais popular linguagem orientada a objeto, C++. Uma linguagem orientada a objeto facilita a programação de grandes projetos, além de facilitar o uso de partes de um programa mais antigo num contexto novo. Por todas as razões citadas, o C++ foi selecionado para fundamentar a linguagem de programação Java, projetada para World Wide Web (www).

Anderson (1999) destaca, ainda, que os métodos de programação orientados a objetos fornecem um caminho natural para modelar agentes, seus esquemas e suas interconexões. Moss et al. (1998) descreve uma linguagem de programação orientada a objeto, a SDML (*Strictly Declarative Modeling Language*), representando agentes como modelos de cognição sem uma estrutura organizacional. Esse tipo de modelagem pode simplificar o problema da representação organizacional que possuem ricas interações entre os componentes.

Anderson (1999) evidencia que uma das limitações das modelagens que empregam a simulação é que elas possuem muitas estruturas igualmente plausíveis que podem conduzir a diferentes previsões e gerar resultados expandidos, igualmente, por uma multiplicidade de simulações, possuindo muitas e diferentes pressuposições. Para o autor, o poder da simulação como técnica está na habilidade de exercer muitas iterações para explorar uma variedade de trajetórias, através das quais o sistema poderia evoluir, de acordo com a estrutura composta de: partes conectadas e agentes co-evoluindo com esquemas de mudança. Tais simulações não precisam ser baseadas em especificações abstratas de como os agentes se comportam e interagem, elas podem ser semeadoras de dados reais para atores reais.

Ressalta-se que existem muitas outras ferramentas de modelagem, com base em simulação, que não foram discutidas nessa seção. A intenção não é esgotar o tema, mas mostrar que é possível usar a simulação para auxiliar à modelagem dos sistemas complexos.

3.4.9 COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS APRESENTADAS

Nas últimas oito seções, apresentaram-se algumas ferramentas que podem ser empregadas para representar sistemas complexos. Analisando-as, pode-se notar que os autores usam, como base de construção, modelos matemáticos e programas de simulação. O objetivo é criar uma operacionalização para as inúmeras interações que ocorrem nos sistemas complexos. O Quadro 11 sumariza tais ferramentas.

Observando-se o Quadro 11, nota-se que as ferramentas apresentadas possuem um objetivo comum: compreender o comportamento de um sistema complexo por meio da análise de suas interações. Para cumprir esse objetivo, cada ferramenta segue um caminho diferente, com a intenção de operacionalizar o sistema complexo o mais próximo possível da realidade. Segal (1995) traça um interessante contraste existente entre as formas de modelagem que por um lado, tentam melhorar a compreensão do sistema por representá-lo em termos de equações matemáticas e simulações; por outro, tentam reproduzir, através de um programa computacional, como um sistema se comporta diante de um determinado conjunto de circunstâncias.

Dessa forma, os autômatos celulares, as redes neurais e algoritmos genéticos são ferramentas primárias, assim consideradas por se nortearem diretamente pela observação do funcionamento dos sistemas naturais; a partir deles, por meio de modelos matemáticos e simulações computacionais, transpor a lógica de funcionamento deles aos sistemas artificiais. Os autômatos celulares foram desenvolvidos a partir do processo de auto-reprodução biológica; as redes neurais foram inspiradas no comportamento dos neurônios do cérebro dos mamíferos, principalmente dos seres humanos, e os algoritmos genéticos se fundamentam no processo de evolução biológica.

Já a matriz de análise estrutural, por meio da ferramenta MICMAC; o P3tech, a simulação de sistemas com base em multiagentes (MAS) e o Starlogo são ferramentas mais específicas e aprimoradas. Elas, usualmente, empregam como base a lógica de funcionamento das ferramentas primárias (autômatos celulares, redes neurais ou algoritmos genéticos). O MICMAC possui como base as matrizes booleanas e as redes binárias que são, também, a base formadora dos autômatos celulares. O MAS é um programa de simulação computacional baseado em multiagentes, buscando incorporar as tendências emergentes à trajetória de evolução do sistema. É uma ferramenta muito completa, mas exige um conhecimento profundo das teorias para simulação, fato que pode impedir sua implementação.

Ferramentas empregadas para rerepresentar sistemas complexos						
Ferramentas	Origem	Base de Construção	Conceitos	Características	Objetivo	Aplicação
Autômato Celular Von Neuman e Ular (1948)	Modelos de auto-reprodução biológica.	(1) Redes Binárias; (2) Sistemas Dinâmicos; (3) Modelos Matemáticos; (4) Simulação Computacional .	Composto de uma grade retangular de células que assumem diferentes valores e são influenciadas por células vizinhas. O conjunto de células da grade inteira pode mudar em função das regras estipuladas a uma célula individual.	(1) Cada célula possui um conjunto finito de valores; (2) O valor de cada célula é atualizado em função do tempo; (3) As regras para os novos valores das células dependem das células vizinhas. (4) As variáveis de cada célula são atualizadas com base nos valores das variáveis num tempo previsto.	Modelar sistemas naturais e criar jogos matemáticos.	(1) O jogo da vida; (2) Simulação de redes autopoéticas; (3) Modelagem da evolução das espécies.
Redes Neurais	Criação de redes de simulação, em analogia aos neurônios do cérebro humano e sua capacidade de aprendizagem.	(1) Modelos Matemáticos; (2) Modelos Biológicos; (3) Simulação Computacional .	Formada por uma rede de muitos nodos, que em qualquer instante do tempo é caracterizado pelos <i>bits</i> 0 ou 1.	(1) Assume os <i>bits</i> 0 ou 1; (2) Os <i>bits</i> indicam se os neurônios estão emitindo sinais ou não; (3) Cada <i>bit</i> está ligado a alguns e a todos os outros <i>bits</i> ; (4) A intensidade de influência de um nodo sobre outro é representado por um número positivo ou negativo.	Captar características particulares dos neurônios e de suas interações e, a partir disso, desenvolver modelos matemáticos.	(1) Modelos de inteligência artificial: NETalk - Modelagem para ensinar um idioma estrangeiro.
Algoritmos Genéticos (Holland, 1995)	Experimentos de simulação com base na genética e na evolução biológica.	(1) Processo de Evolução Biológica; (2) Modelos Matemáticos; (3) Simulação Computacional .	Composição de esquemas. Cada um representa um programa computacional para dada estratégia. Os programas são formados por instruções. Os esquemas variam em função das mudanças nas instruções.	(1) Obedece a regras simples do processo de evolução biológica; (2) Evolui por dois caminhos: mutação e recombinação.	Compreender a evolução dos fenômenos e como podem ser usados na otimização de problemas. Disto transpor essa compreensão para modelar sistemas biológicos e sociais.	(1) Inteligência artificial, ciência da computação, pesquisa operacional e teoria dos jogos: TIERRA e ECHO.
MICMAC Godet (1993)	(1) Matrizes booleanas; (2) Modelos qualitativos e estocásticos.	Matriz de análise estrutural.	Identificar as variáveis mais autônomas mais dependentes do sistema, classificando-as de acordo com sua influência direta ou indireta.	(1) Recenseamento das variáveis; (2) Identificação das relações na matriz de análise estrutural; (3) seleção das variáveis-chave.	Estudar as relações entre as variáveis que compõem o sistema e compreender sua evolução.	Análise econômica.

Quadro 11: Ferramentas empregadas para representar sistemas complexos (Continua....)

P3Tech Gattaz (2000)	Inclusão do contexto na estrutura de resolução de problemas.	Modelagem de processos.	P3: Processo, Protocolo e Protótipo. Tech: desenvolvimento de tecnologias para modelar processos. Um processo é a interpretação das mudanças entre o estado atual do sistema e o estado futuro desejado.	(1) Estruturação de processos (Parchitect); (2) Mapeamento de protocolos (Psynthesizer); (3) Construção de protótipos (Pfingers)	Representar a complexidade da realidade, por meio da modelagem dos processos. É uma representação gráfica da realidade	Empresas brasileiras de pequeno, médio e grande porte. Exemplos: a Siemens, o centro de desenvolvimento de processos ligado a PUC-PR e o processo de aprendizagem de uma pessoa.
MAS Villegas (2001)	Necessidade de incluir as tendências emergentes na modelagem dos sistemas.	Modelagem com base em multiagentes, regras de restrição e tendências emergentes.	É um tipo de modelagem que considera as emergências que surgem na trajetória de evolução do sistema	(1) O sistema está sujeito à barreira de racionalidade do sujeito; (2) Incorpora a noção de complexidade objetiva e está sujeita aos efeitos dos níveis de complexidade; (3) Incorpora uma noção subjetiva da complexidade; (4) Possui tendências emergentes.	Desenvolver ferramenta que considere as tendências emergentes do sistema, sua ligação com o conhecimento do sujeito, a capacidade cognitiva do observador e a complexidade objetiva.	Tese Doutorado Villegas (2001)
Programação Orientada a Agente Starlogo	Programa de simulação <i>LOGO</i>	Modelagem com base em agentes. A simulação se inspira no funcionamento dos sistemas naturais.	Programa de simulação usado para modelar sistemas complexos a partir de regras simples. Capacita professores para ensinar a estudantes como os sistemas complexos funcionam.	(1) Capacidade de observar o comportamento individual dos objetos e dos padrões exibidos pelos grupos; (2) Emergência de padrões; (3) Lógica de funcionamento predador-presa; (4) Capacidade de aptidão individual.	Auxiliar as pessoas a criar modelos descentralizados. Sistemas nos quais os padrões emergem de interações entre muitos objetos individuais.	(1) Comportamento do vôo dos pássaros; (2) O trabalho em uma colônia de formigas; (3) Os efeitos de um engarrafamento no trânsito; (4) Para programadores iniciantes, pela facilidade de execução.

Quadro 11: Ferramentas empregadas para representar sistemas complexos (...Conclusão)

O P3tech é um programa computacional que associa o contexto ao delineamento do sistema. Visa resolver problemas o mais próximo possível da realidade. Utiliza, para isso, a simulação, a emulação e a encenação antes de oferecer as soluções finais do problema. O *Starlogo* é um programa básico de simulação para estudantes fundamentado em agentes. Ele é formado por regras de interação e graus diferenciados de aptidão entre os indivíduos.

Todas as ferramentas apresentadas, como discutido, foram desenvolvidas para representar e intervir nos sistemas complexos, podendo ser empregadas para esse fim, de acordo com adaptação da ferramenta às necessidades do sistema modelado. No caso, deste trabalho, a ferramenta empregada é o MICMAC, por ser mais apropriada aos propósitos desta pesquisa.

Observa-se que todas as ferramentas foram construídas a partir de uma visão sistêmica. Apesar disso, para intervir num sistema complexo, modelando-o, independente da ferramenta empregada, é necessário, de alguma forma, fechar o sistema organizacionalmente, como destacam Heylingen (1988) e Maturana e Varela (1997; 2002). Além disso, é necessário utilizar duas ou mais dimensões para conseguir perceber o nível de complexidade do sistema, modelos direcionados por uma ou duas dimensões não são capazes de extrair as propriedades e características inerentes aos sistemas complexos. No caso dos sistemas naturais, fonte de inspiração para as modelagens dos sistemas complexos artificiais, os sistemas são completamente abertos, porque não existe um observador que, de fora, modele o sistema a partir das próprias impressões e percepções do mundo, fato que ocorre na modelagem dos sistemas artificiais. A subjetividade do observador-modelador e a(s) ferramenta(s) utilizadas interferem nos resultados a serem obtidos, pois essa subjetividade fará sempre parte da interpretação dada ao sistema observado, como uma das dimensões assumidas pelo sistema modelado.

3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Para propor uma modelagem que represente sistemas complexos, é indispensável compreender o que significa modelar e conhecer as ferramentas que podem ser empregadas para esse fim.

Neste Capítulo, buscou-se conhecer e discutir as principais questões que permeiam a modelagem de um sistema. O objetivo é nortear a modelagem de acordo a abordagem analítica ou sistêmica.

Assim, inicialmente, discutiu-se o conceito de modelagem, associando-o aos paradigmas que direcionam determinadas épocas científicas e, dessa forma, influenciam a percepção de mundo de cada indivíduo. A partir disso, apresentou-se o conceito de sistema como um instrumento, uma “lente,” para modelar os sistemas complexos. Esse instrumento pode captar a dinâmica que assume a organização de um sistema, identificando o tipo de auto-organização que emerge das interações de suas partes. Por fim, apresentam-se e discutem-se ferramentas que podem ser usadas para representar e intervir nos sistemas complexos. A intenção é dinamizar o funcionamento dos sistemas, de modo que a organização interna deles se torne mais apta a perceber e eliminar as perturbações externas que podem interferir no seu desempenho interno.

No próximo Capítulo, apresenta-se uma discussão sobre os arranjos empresariais e as Ciências da Complexidade. O objetivo é mostrar as similaridades entre seus conceitos e as contribuições que a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade podem trazer a gestão empresarial, por meio dos arranjos empresariais.

CAPÍTULO 4: OS ARRANJOS EMPRESARIAIS E AS CIÊNCIAS DA COMPLEXIDADE

No mundo dos negócios, as mudanças ocorrem de modo inesperado e com grande rapidez. As empresas, individualmente, apresentam grande crescimento em complexidade, mas podem encontrar seus limites de crescimento em períodos de relativa instabilidade e incontabilidade. Percebendo esse comportamento, pesquisadores e empresários começaram a investigar configurações mais apropriadas para enfrentar o aumento de complexidade, os períodos de instabilidade e as mudanças imprevisíveis.

As configurações empresariais totalmente verticalizadas, que predominaram na primeira metade do século XX já não atendem com eficácia ao novo ambiente mercadológico. A execução de todas as operações, do planejamento a disponibilização do produto final aos clientes, começa a ser operacionalizada por um arranjo empresarial, que pode ser denominado cadeia ou rede. Embora se tenha avançado racionalmente nos processos de negócios, quanto ao aumento de produtividade, os conhecimentos atuais em gerenciamento são direcionados a situações de relativa estabilidade, o que não acontece na realidade empresarial.

Até os anos 80, aproximadamente, como as relações de mercado eram mais estáveis, a inovação tecnológica mais lenta, a concorrência menos intensa e as relações de mercado menos complexas, as empresas podiam se comprometer em executar todas as operações internas necessárias ao fornecimento do produto. Atualmente, estruturas verticalmente integradas são menos frequentes devido ao próprio acirramento das relações de mercado e em decorrência, do aumento da complexidade nessas relações. As empresas, nesse contexto, passam a se concentrar nas competências essenciais (*core competences*), por isso precisam fazer parte de arranjos empresariais, o que torna possível sua dedicação a tais competências e, ao mesmo tempo, incorpora uma estrutura mais ampla e flexível à estrutura da empresa isolada. Esse fato induz a um comportamento mais cooperativo que competitivo, o que pode fortalecer as relações da empresa com o mercado, garantindo a essas empresas uma maior capacidade de resistência às perturbações externas.

Com base nessas constatações, observa-se que a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade pode ser associada aos objetivos da formação dos arranjos empresariais, já que apresentam similaridades conceituais.

Este Capítulo apresenta, inicialmente, uma discussão sobre o surgimento da necessidade de uma gestão empresarial mais horizontal que vertical. Em seguida, apontam-se

algumas abordagens para a análise das empresas isoladas no contexto da gestão integrada e os principais conceitos e características que envolvem a gestão de uma cadeia de suprimentos. Na seqüência, discutem-se as similaridades entre os objetivos das Ciências da Complexidade e da gestão compartilhada, configurada pela formação de arranjos empresariais. Destacam-se, ainda, as contribuições que a estrutura conceitual dessas ciências pode trazer à gestão de uma cadeia de suprimentos.

Entendendo que a análise isolada das empresas não é mais suficiente para garantir a sobrevivência e a competitividade das empresas, na seção seguinte, discutem-se os fatores que influenciaram a formação de arranjos empresariais como uma alternativa para a gestão empresarial que vai além das fronteiras organizacionais.

4.1 EVOLUÇÃO DA GESTÃO ISOLADA PARA A GESTÃO COMPARTILHADA

Há tempos a sobrevivência do homem está relacionada aos processos de produção, de armazenamento e de transporte de bens. Para realizá-los de maneira eficaz e com menor grau de dificuldade, ele percebeu a necessidade de se organizar em grupos e cooperar mutuamente. Com esse propósito, surgiram os primeiros agrupamentos humanos. A condição de **nômades**, antes, foi substituída por uma configuração coletiva denominada **bando**. Depois vieram as **tribos** com uma organização mais aperfeiçoada, às quais se seguiram os **impérios**, e outros tipos de agrupamentos humanos até as atuais configurações organizacionais.

Na trajetória de evolução da humanidade, podem-se destacar alguns marcos que direcionaram o estabelecimento de agrupamentos humanos cada vez mais organizados. Esses marcos estão diretamente ligados à relação existente entre os donos dos meios de produção (terra, capital e tecnologia) e os trabalhadores.

Com base em Porter (1989), Fleury e Fleury (2001), Lamming (2001), Krugman (2002), Prahalad e Ramaswamy (2002) e Pires (2004), o Quadro 12 reúne os principais marcos que nortearam a formação de agrupamentos humanos, visando produzir, armazenar e transportar bens.

Analisando-se o Quadro 12, pode-se notar que as questões relacionadas à gestão da produção são antigas. A percepção de que uma única entidade, concentrando todas as funções, do planejamento a distribuição de bens, não poderia cumprir completamente as tarefas com eficiência, vem desde a produção artesanal dos meados do século XV.

Memória de evolução da gestão da produção		
Marco	Mudança na relação entre os meios de produção e a força de trabalho	Mudanças no comportamento dos agrupamentos humanos e no tipo de gestão executada
Produção Artesanal (Até o século XV)	Até o século XV, aproximadamente, os produtos eram fabricados manualmente e o artesão era responsável por todo o ciclo produtivo. Nesse processo, o artesão era proprietário dos meios de produção; podia escolher trabalhar sozinho, na sua própria oficina, ou trabalhar para outro artesão. No segundo caso, trabalhava com ferramentas do proprietário da oficina. Com a concentração de artesãos numa mesma oficina, começaram a surgir as primeiras divisões de trabalho (PIRES, 2004; FLEURY e FLEURY, 2001).	Os produtos eram fabricados sob encomenda. Com aumento dos pedidos, os donos das oficinas precisavam delegar tarefas a outras pessoas, por não conseguirem, sozinhos, realizá-las, da aquisição da matéria-prima à distribuição dos bens aos clientes finais. Os artesãos funcionavam em regime de monopólio. Contudo, já havia a preocupação com formas mais eficientes de produzir e interagir com o mercado. A necessidade de atuar, utilizando a estrutura da cadeia produtiva, iniciava-se nesse período (PIRES, 2004; FLEURY e FLEURY, 2001).
Revolução Industrial (Século XVI a XIX)	O surgimento da máquina a vapor é o impulsionador da mudança da produção artesanal para a produção mecanizada, repetitiva, mais rápida, mais padronizada e com maior qualidade. Há uma nítida separação entre os donos dos meios de produção e os donos da força de trabalho (PIRES, 2004; FLEURY e FLEURY, 2001).	O movimento iluminista induziu ao fim do monopólio e difundiu a lógica do livre comércio. A divisão do trabalho e a especialização dos recursos foram práticas estabelecidas com o objetivo de aumentar a produção dos bens. O crescimento da produção levou à busca de novos mercados e ao aprimoramento do sistema de transporte. Nesse período, desenvolveram-se a locomotiva e o navio a vapor, inovações que impulsionaram o transporte de mercadorias (PIRES, 2004; FLEURY e FLEURY, 2001).
Indústria Automotobilística (Início do Século XX)	O desenvolvimento da indústria automobilística, no século XX, revolucionou os modos de produção da época. Foi a partir dela que surgiram as linhas de montagens, nas quais os operários precisavam se ajustar ao movimento da esteira móvel. Houve uma extrema especialização do trabalho. A administração científica, instituída por Taylor, influenciou muito o desenvolvimento da indústria automobilística (PIRES, 2004).	Henry Ford foi a figura mais notória desse período, seu objetivo era produzir automóveis padronizados e em grande escala de produção. Para isso, criou a produção verticalmente integrada, que atuava da extração de matéria-prima até a distribuição dos produtos aos clientes finais. Isso aconteceu devido à escassez de fornecedores e ao aprimoramento técnico que conseguiu com o tempo (PIRES, 2004).
Diversificação de Produtos (1925)	Ford se concentrou na produção em massa e de baixo custo do modelo T e se descurou das necessidades do mercado por produtos diferenciados. Essa lacuna existente no mercado foi preenchida pela GM (General Motors) que se concentrou nas novas demandas do mercado e na diversificação de sua linha de produtos, criando cinco divisões distintas para tratar segmentos de mercados com necessidades diferentes, todas as divisões pertencem à mesma corporação. As relações estabelecidas na GM são focalizadas na colaboração entre parceiros comerciais, o que inicia o processo de concentração nas competências essenciais (<i>core competences</i>) e nas relações de sinergia (LAMMING, 2001).	O modelo de gestão estabelecido na GM dividia o nível estratégico do nível operacional. Assim, as decisões estratégicas eram tomadas corporativamente, e as decisões operacionais, nas divisões internas. O objetivo era incentivar a atuação autônoma em cada divisão e a sinergia entre elas. A GM atuava em setores como os de autopeças, refrigeradores e tratores. No caso do setor de autopeças, ele era o fornecedor para a montadora GM, não havendo nenhum favorecimento por pertencerem ao mesmo grupo. Foi implementado um fluxo regular de informações com os distribuidores. Nesse modelo de gestão, há uma grande preocupação com o trabalho em equipe e a cooperação (LAMMING, 2001).
Modelo Japonês (a partir dos anos 70)	As previsões negativas decorrentes dos <i>trade-offs</i> (a melhoria em um setor gera perda em outro) encontrados no processo de produção de automóveis, direcionaram os interesses mais para o setor de serviços que para o setor manufatureiro. Enquanto isso, o Japão se destacou pela capacitação tecnológica e aumento da competitividade industrial no setor manufatureiro, como o automobilístico e o eletrônico, liderando as vendas nos mercados ocidentais (LAMMING, 2001; FLEURY e FLEURY, 2001).	O Sistema Toyota de Produção instituiu o sistema de produção <i>Just in time</i> (JIT). O JIT é composto por um conjunto de procedimentos que inclui a flexibilidade produtiva, grupos autônomos, produção puxada via <i>Kanban</i> , na qual a produção é voltada para a demanda real. Além de destacar a importância dos processos logísticos (estoque e transporte), trabalhando com a lógica do mínimo estoque e do lote econômico unitário, o que reduz os níveis de inventário (LAMMING, 2001; FLEURY e FLEURY, 2001).

Quadro 12: Memória da evolução da gestão da produção (Continua.....)

Expansão das práticas do JIT no mundo ocidental (anos 80 e 90)	Os bons resultados alcançados com o JIT, no Japão, levaram a sua replicação nas empresas ocidentais. Relações de parcerias com fornecedores-chave, com subcontratações de serviços e componentes. Na maioria, as parcerias eram feitas entre empresas de um mesmo conglomerado empresarial (<i>Keiretsu</i>). Nesse sistema, uma empresa possui forte participação na propriedade da outra que possuem a mesma filiação, com relações estáveis de compras e fornecimento entre empresas clientes e fornecedoras (LAMMING, 2001; FLEURY e FLEURY, 2001).	Forma e gerencia um conjunto coeso de fornecedores que são vistos como recursos externos. Os fornecedores podiam ser exclusivos de determinada empresa, mas não eram propriedade dela. Disso surgiu a denominação de empresas filhas, que se dedicavam a fornecer às empresas mães (empresas clientes), e de empresas netas, que se dedicavam a fornecer às empresas filhas. As empresas filhas e as empresas netas não deveriam fabricar produtos finais, mas componentes para as empresas mães. Como empresas mães e filhas, elas deveriam compartilhar a gestão da mão-de-obra, de materiais e de capital (LAMMING, 2001; FLEURY e FLEURY, 2001).
Internet e Tecnologia da Informação e Comunicação (anos 90 em diante)	As relações de produção foram fortemente afetadas pelo poder transformador da rápida transferência de informação, gerada pela Internet como rede de comunicação global. A partir do surgimento dessa tecnologia de comunicação, as relações de produção passaram a não depender, apenas, da localização física das empresas, mas da sua capacidade de interagir por meios virtuais (PRAHALAD e RAMASWAMY, 2002).	Funciona como um integrador das múltiplas funções inerentes à gestão empresarial, pois a comunicação tornou-se <i>on-line</i> , global e o volume de informações disponíveis tornou-se muito maior e mais ágil. As relações virtuais são ativadas pela intensidade e frequência de interações, independente da localização física dos agentes. Por isso, os agrupamentos formados independem da distância geográfica, apenas a logística de entrega dos bens estão relacionados à distância geográfica (PRAHALAD e RAMASWAMY, 2002; PIRES, 2004).
Globalização (anos 90 em diante)	O processo de abertura da economia, iniciado nos anos 90, colocou as empresas brasileiras diante de uma competição em escala global. Essa abertura concentrou a atenção dos empresários em atender às exigências crescentes do mercado, ao mesmo tempo em que precisavam reduzir os custos, aumentar a qualidade, ter flexibilidade e entregar com rapidez. Esses fatos mudaram a forma de organização empresarial da produção verticalizada para uma mais horizontal. A cooperação passou a ser vista como alternativa de sobrevivência num mercado altamente competitivo KRUGMAN (2002).	Para se fortalecer, as empresas buscam configurações que permitam atender às exigências do mercado que associam baixo custo com alta qualidade, flexibilidade e prazos de entrega confiáveis. A dimensão custo e a dimensão qualidade passam a ser uma obrigação de quem produz num ambiente globalizado, as vantagens competitivas devem ser disputadas no cumprimento dos prazos de entrega e na flexibilidade que ela possui em se adaptar às mudanças do ambiente competitivo (KRUGMAN, 2002)
Emergência da logística como fator estratégico (anos 90 em diante)	A logística passou de setor que exercia a mera função de expedição de produtos para ser reconhecida como uma área estratégica no atual contexto da economia globalizada. A agregação de valor do produto passa a ser correlacionada com sua cadeia de valor e não só com a transformação física do produto ao longo de sua cadeia de produção. O valor agregado foi relacionado com o posicionamento do produto, destacando a importância dos processos logísticos (PIRES, 2004).	O conceito de JIT introduzido pelo modelo japonês destacou a importância dos processos logísticos, que apesar de serem processos meio, no sentido de viabilizar os processos fins, tais como, vender, produzir e entregar, representam uma vantagem competitiva no funcionamento do mercado atual sendo analisado no contexto da cadeia de valor de cada empresa (PIRES, 2004, p.36).
Customização em massa (anos 90 em diante)	Reúne a produção em massa e a produção customizada de modo complementar. Para isso é necessário ter liderança em custo e diferenciar ao mesmo tempo, o que, para Porter (1980), leva à perda de competitividade, devido à incompatibilidade de estratégias e perda de foco (FLEURY e FLEURY, 2001).	Para conseguir uma customização em massa com sucesso, é necessário sair da configuração de empresa isolada e passar a operar além das fronteiras organizacionais (FLEURY e FLEURY, 2001).

Quadro 12: Memória da evolução da gestão da produção (Conclusão). **Fonte:** Porter (1989), Fleury e Fleury (2001), Lamming (2001), Krugman (2002), Prahalad e Ramaswamy (2002) e Pires (2004).

Desde esse período, evidenciou-se que, a partir da separação entre os proprietários dos meios de produção e os detentores da força de trabalho, as relações de produção assumiam configurações mais complexas, as quais precisavam de uma estrutura mais ampla e flexível para funcionarem eficientemente.

As mudanças nas relações de produção foram introduzidas, entre outras coisas, pelos desenvolvimentos tecnológicos que requerem uma reorganização nas formas de produção e de gestão. Assim, a Revolução Industrial, com o advento da máquina a vapor, possibilitou a mudança da produção artesanal para a produção mecanizada. Esse fato mudou as relações de produção, com o estabelecimento da divisão do trabalho evidenciada pela separação entre os donos dos meios de produção e os operários que vendem a força de trabalho.

Nesse contexto, os meios de produção passam a ser as máquinas, ao invés de ferramentas, exigindo-se um grande investimento de capital. O regime de monopólio foi substituído pelo livre comércio, o que aumentou a concorrência e os mercados a serem atendidos. Os meios de transporte foram aprimorados pela locomotiva e pelo navio a vapor, os quais representaram um grande avanço no tempo de entrega das mercadorias - antes realizada por meio de veleiros. Nesse período, iniciou-se a preocupação com rotas mais rápidas e econômicas para entrega dos bens.

Depois do advento da máquina a vapor, redirecionando as formas de produção, a próxima inovação que impulsionou as mudanças incipientes nas relações de produção foi o desenvolvimento do automóvel. A indústria automobilística introduziu a linha de montagem e a superespecialização do trabalho, na qual os operários precisavam se adaptar à velocidade das esteiras rolantes. Num primeiro momento, preocupava-se, especialmente, com uma ampla escala de produção a baixo custo, evidenciada pela produção do modelo T de Ford, inquietação decorrente da grande demanda existente pelo produto. A produção era muito verticalizada, em parte devido à carência de fornecedores aptos a produzir complementos com qualidade aceitável, para os padrões técnicos requeridos pela indústria automobilística.

Num segundo momento, constatou-se que o mercado desejava produtos diferenciados e não se limitava a atender à função básica de locomoção. A partir dessa percepção, houve um direcionamento para as competências essenciais (*core competences*), nas quais uma empresa precisa se concentrar para atender com eficiência à demanda do mercado.

Além disso, desenvolveram-se relações de colaboração e sinergia entre parceiros comerciais, associadas à disponibilização de informações para todos os parceiros envolvidos nos processos de planejamento, produção e distribuição do produto. Entretanto, a diversificação na indústria automobilística gerou descompensação entre alguns aspectos empresariais. Por exemplo, enquanto a empresa aumentava a flexibilidade, aumentavam-se, também, os custos. São os denominados *trade-offs*. Dessa forma, ocorreu um período de pessimismo, em relação à manufatura, e de otimismo crescente, em relação ao setor de serviço, fatos que desaceleraram os investimentos em manufatura (LAMMING, 2001; FLEURY e FLEURY, 2001).

Em contraponto, a indústria japonesa se concentrou nos setores automobilístico e eletrônico, buscando formas de otimizar a produção. Ela liderou o mercado ocidental com a introdução do sistema de produção JIT (*just in time*). Nesse sistema, a empresa desverticaliza a produção e institui um sistema mais horizontal, formando parcerias com grupos de fornecedores chave, instituindo um programa de parcerias entre empresas fornecedoras de um mesmo conglomerado empresarial. O sistema JIT se expande pelo mundo ocidental, representando vantagem competitiva para os setores que vivem em meio à alta competitividade.

Associados à expansão do modelo japonês, o advento da Internet e o aprimoramento da tecnologia da informação contribuíram para a percepção de que a gestão da produção poderia estar desvinculada de uma empresa isolada e ser expandida por meio de parcerias e subcontratações. Assim, a empresa poderia se concentrar nas competências que fossem essenciais ao eficaz desempenho de suas atividades. Por outro lado, no mesmo período, a abertura da economia expõe as empresas a uma competição em escala global. Essa competição exige estratégias mais elaboradas para sobreviver e se manter com vantagem no mercado.

Com a globalização e a customização em massa, baixos custos e alta qualidade são fatores necessários para a permanência no mercado, mas não representam um diferencial. O diferencial passa a ser a rapidez na entrega e a flexibilidade na capacidade de adaptação às mudanças. Em decorrência desses fatores, a logística se reconhece como fator estratégico para atuar numa economia globalizada, sendo analisada no contexto da cadeia de valor do produto (PIRES, 2004).

Assim, os arranjos empresariais são formados com o objetivo de se manterem mais fortes e sobreviverem num mercado altamente competitivo e exigente. As relações estabelecidas entre as empresas tornaram-se mais cooperativas que competitivas, ganhando e

se fortalecendo num sistema integrado por parcerias e sinergias. A gestão isolada que concentra numa única empresa todas as etapas da produção é substituída pela gestão compartilhada, a qual admite a necessidade das parcerias e de cooperação. A esse respeito, Teixeira (2004) destaca que as empresas buscam relacionamentos comerciais que compartilhem valores corporativos, tais como: qualidade, integridade, trabalho em equipe, incorporando o conceito de mudança.

Na próxima seção, apresenta-se uma discussão sobre os principais tipos de configurações empresariais empregadas para analisar uma unidade empresarial no contexto da gestão integrada.

4.2 A EMPRESA NO CONTEXTO DOS ARRANJOS EMPRESARIAIS

Como discutido na seção anterior, vários fatores influenciaram a percepção de que uma empresa isolada não conseguiria atender às crescentes exigências do mercado com a eficiência requerida. Por isso, foi necessário buscar configurações as quais se adaptassem mais às condições de funcionamento do mercado.

Termos como parceria, competências essenciais, alianças estratégicas, *outsourcing*, cadeia de valor, rede de valor, cadeia produtiva, cadeias de suprimentos e redes virtuais são comuns no atual ambiente de negócios. Esses termos indicam a busca por configurações integradas, que envolvam as empresas num arranjo interempresarial e possibilite uma atuação mais apropriada ao contexto das necessidades impostas por um mercado competitivo e globalizado.

Nesse sentido, Fleury e Fleury (2001) destacam que, nas últimas décadas, começaram a surgir novas formas de arranjos empresariais com características diferenciadas. Esses novos arranjos têm sido freqüentemente estudados, com ênfase nas cadeias produtivas, nas cadeias de valor e nas cadeias de suprimentos.

Nesta seção, ressaltam-se, especialmente, os arranjos empresariais formados com base na cadeia de valor (*value chain*) da empresa; na cadeia de suprimentos (*supply chain*); na cadeia produtiva (*filière*).

4.1.1 CADEIA DE VALOR (*VALUE CHAIN*)

O termo “cadeia de valor” foi desenvolvido por Porter em 1985. O objetivo do autor é mostrar que, para se compreender os elementos fundamentais da vantagem competitiva, é necessário conhecer e analisar todas as atividades executadas na cadeia de valor de uma empresa e a dinâmica das interações dessas atividades (PORTER, 1989). As atividades podem ser classificadas em primárias e de apoio. As atividades primárias são aquelas envolvidas na criação, distribuição e manutenção física do produto. As atividades de apoio servem de suporte às atividades primárias e a si próprias. A Figura 10 mostra uma cadeia de valor genérica, com as atividades que a integram.



Figura 10: Cadeia de valor genérica. **Fonte:** Porter (1989.p.35)

Na Figura 10, o campo preenchido por linhas tracejadas, cruzadas por linhas horizontais indicam as atividades que dão suporte às atividades primárias e à cadeia inteira. A infra-estrutura é necessária ao funcionamento de toda a cadeia.

Assim, para analisar a empresa, no contexto da cadeia de valor, a abordagem estabelecida por Porter (1989) atribui a cada empresa autonomia para classificar as atividades primárias em graus de importância relativos e distintos, conforme a maneira com que ela busca obter vantagem competitiva. Em outras palavras, a empresa seleciona, organiza e prioriza as atividades primárias de acordo com a estratégia empregada para conseguir

competitividade. Por isso, empresas do mesmo setor podem apresentar critérios diferentes para hierarquizar as atividades primárias delas.

Percebe-se que esse conceito de cadeia de valor, de Porter (1989), limita-se a analisar a empresa dentro de suas fronteiras organizacionais. A proposta dele assume que cada empresa possui cadeia de valor própria.

Horngren, Foster e Datar (2000, p.3) definem cadeia de valor como uma seqüência de atividades que adiciona utilidades aos produtos da organização. Para Riggs e Robbins (2001), “cadeia de valor” é uma expressão usada para definir uma série de atividades, como, por exemplo: um processo comercial, da matéria-prima ao produto final, sendo que cada atividade intermediária acrescenta sua contribuição ao produto final resultante. Fine *et al.* (2002) destacam que a cadeia de valor de uma empresa evoluiu do conceito estático: conjunto fixo de fornecedores, processos de produção e canais de distribuição projetados com o objetivo de obter vantagem competitiva e mantê-la, para uma nova estrutura adequada ao ritmo das mudanças nas tecnologias e nos mercados. Por isso, necessidade de uma reorganização constante dos ativos estruturais, tecnológicos, financeiros e humanos em todos os elos. Prahalad e Ramaswamy (2002,p.38-39) discutem a necessidade de criar cadeias de valor, a base de valor das quais se desloque de produtos para experiências; a influência do consumidor se espalhe pela cadeia de valor (em pesquisa e desenvolvimento, projetos, fabricação, logística, serviço e pontos intermediários); os conflitos entre a empresa e o consumidor sejam mais visíveis e resolvidos de forma mais produtiva e que as empresas não ditem como o valor será criado. Os autores defendem a posição de que as empresas precisam aprender a “*co-criar*” valores com os consumidores.

A construção da cadeia de valor, por outro lado, está diretamente relacionada à concepção de valor. Valor é um conceito muito antigo, que acompanha a própria trajetória de evolução da humanidade. A atribuição de valor aos bens é uma questão controversa desde a Antiguidade. Os religiosos atribuíam valor às coisas mais insignificantes, no sentido monetário, e mais caras, no sentido espiritual e de manutenção da vida (fé, esperança, bondade, perseverança etc.). Os mecenas só atribuíam valor às coisas que representavam poder monetário e ascensão social. Contudo, uma definição sistematizada de valor surgiu em 385 a.C., com Aristóteles. Este filósofo estabeleceu uma tipologia que enquadrava sete classes de valor: econômico, político, social, estético, ético, religioso e jurídico. Essas classes podiam ser expressas por meio de comparações com outras coisas e medidas em termos monetários (CSILLAG, 1995).

Na visão contemporânea, valor refere-se ao que os clientes estão dispostos a pagar por aquilo que uma empresa lhes oferece (PORTER, 1989, p.34). Esse conceito é essencialmente relativo e usualmente ligado à questão da utilidade (PIRES, 2004, p.55). Como o valor real de um produto, processo ou sistema é determinado pelo grau de aceitabilidade dele pelo cliente (CSILLAG, 1995), há autores que argumentam que o valor é criado pelo produtor, num processo de criação de valor reverso, ou seja, o produtor capta junto aos clientes os requisitos necessários ao produto para que este crie valor.

A evolução nas formas tradicionais de gestão possibilitou às empresas do século XXI operarem num espaço de desfronteirização organizacional (WOOD e ZUFFO, 1998). Nesse ambiente, as estratégias comerciais, a estrutura corporativa e a mentalidade dos negócios são apenas alguns dos fatores essenciais que precisam ser recriados para a sobrevivência neste século (OHMAE, 2004). Fora do ambiente interno da empresa, surgem as parcerias, as alianças, as subcontratações, numa tentativa de fortalecimentos gerencial e operacional para competir num mercado sem fronteiras geográficas. Nesse sentido, as atividades denominadas primárias, no conceito de cadeia de valor de Porter (1989), podem ser localizadas geograficamente muito distantes da estrutura física da empresa, amparadas pelo contínuo uso da Internet e das tecnologias da informação (OHMAE, 2004).

As cadeias de valor das empresas passam a assumir formatos muito diferentes dos estabelecidos por Porter (1989), não sendo mais possível manter uma integração vertical, na qual as empresas exerciam todas as atividades da cadeia de valor. Elas podem se concentrar, apenas, em uma atividade e terceirizar todas as demais, buscando atingir a excelência e a máxima competitividade em determinado setor.

Em decorrência da expansão do conceito de cadeia de valor instituído por Porter, houve um significativo avanço em busca de adaptá-lo às novas tendências do mercado. Com isso, muitas concepções foram desenvolvidas, surgindo uma mistura de nomenclaturas que dificultaram o discernimento do que é uma cadeia de valor, uma cadeia produtiva e uma cadeia de suprimentos.

Assim, Demos, Chung e Beck (2002) pregam que as empresas estão se tornando “estendidas”, expressão que evidencia a dependência delas em relação a outras empresas componentes da cadeia de valor. Nessa definição, os autores se contrapõem à visão de cadeia de valor de Porter, na qual se limita às fronteiras organizacionais de uma empresa. Eles destacam que as empresas deixaram de ser mecanismos autocontidos de criação e captação de valor para participar de constelações de valor, sistemas com várias organizações participantes

nos quais a responsabilidade pela criação de valor e o direito de captá-lo são continuamente negociados entre todas elas.

Ao perceber que as cadeias de valor assumem um formato menos linear e mais dinâmico, muitas vezes em forma de teias, alguns autores, entre os quais Kotler (2001), consideram que a cadeia de valor de uma empresa não se limita às atividades executadas por uma empresa, mas que os produtos também criam a cadeia de valor dessa empresa. Nessa perspectiva, é a busca pela satisfação do cliente que faz a empresa criar a própria cadeia de valor estendida. O conceito de cadeia de valor estendida pode ultrapassar as fronteiras nacionais e operar, globalmente, com partes localizadas em países que ofereçam menores custos de produção, incentivem as instalações físicas e apresentem potencial de crescimento da demanda (ASHKENAS, 1995). Assim, quando a cadeia de valor é vista como estendida, ela se assemelha ao conceito de cadeia produtiva, que será tratado neste trabalho.

Nota-se, analisando-se a discussão apresentada, que há interpretações diferentes para a cadeia de valor, por isso as conceituações são divergentes. Apesar disso, assume-se, nesta pesquisa, o conceito de cadeia de valor estabelecido por Porter, considerando-a composta pelas atividades executadas por uma mesma empresa, cada qual formando um elo, que, no conjunto representa a cadeia produtiva do produto.

Pires (1998) destaca que a análise dos elos é útil para determinar a concorrência em cada empresa, pois a competição, no mercado, ocorre no nível das cadeias de suprimentos e não no nível das unidades de negócios isoladas. Atualmente é difícil uma empresa-elo assumir todas as atividades internas a sua cadeia de valor, por isso se considera que essa empresa se concentra em competências essenciais (*core competences*), e as demais atividades são executadas por outras empresas com as quais ela se relaciona, através da cadeia de suprimentos (AMATO NETO, 1996).

O relacionamento entre os elos da cadeia produtiva pode ocorrer através do sistema de valores estabelecido por Porter (1989). O sistema de valores é constituído por uma corrente de atividades maior que a da cadeia de valor. Compõe-se por elos “corrente acima”, representando as cadeias de valor do fornecedor, e elos “corrente abaixo”, caracterizado pelas cadeias de valor dos canais, intermediários e compradores finais (PORTER, 1989, p.33). Nesse sentido, Pires (2004, p.55) destaca que o conceito de sistema de valores corresponde ao que, atualmente, é denominado cadeia de suprimentos. Segundo o autor, isso explica por que alguns pesquisadores preferem defini-la como a somatória ou a integração de diversas cadeias de valor de diferentes empresas. A Figura 11 apresenta um sistema de valores.

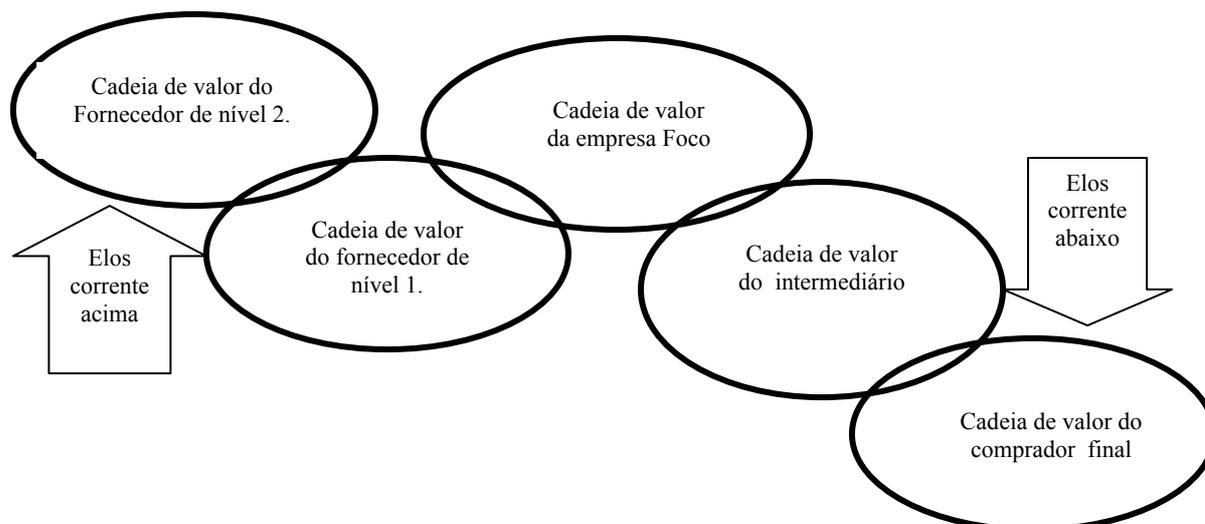


Figura 11: Sistema de valores associado ao conceito de cadeia de suprimentos. **Fonte:** Porter (1989, p.32) e Pires (2004,p.55) - Adaptado.

Com base na percepção de alguns autores, como discutido por Pires (2004), a Figura 11 representa o sistema de valores associado ao conceito de cadeia de suprimentos.

4.2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS (*SUPPLY CHAIN*)

A discussão do termo “cadeia de suprimento” (*supply chain*) inicia-se pela apresentação de algumas definições a ele atribuídas. A bibliografia apresenta conceituações e abrangências diferentes para descrever uma cadeia de suprimentos. Para alguns autores, ela é fruto da evolução do conceito de logística e, por isso, engloba as atividades logísticas de várias empresas (WOOD e ZUFFO, 1998; RODRIGUES e PIRES, 1997; PIRES, 1998; MUSSETI, 1996; CHRISTOPHER, 1997; ARAVECHIA, 2001). Já outros analisam o conceito de logística e constataam que, apesar de a logística integrada ir além dos aspectos técnicos e operacionais da logística tradicional, assumindo uma visão estratégica, a cadeia de suprimentos possui uma escala maior de atuação, envolvendo, além do processo logístico, todos os processos de negócios, que se tornam processos de negócio da cadeia de suprimentos (LAMBERT, STOCK e VANTINE, 1999, P.830; CHRISTOPHER, 2000; MENTZER *et.al.*, 2001; PIRES,2004).

A evolução das discussões acadêmicas e empresariais sobre o conceito de cadeia de suprimentos levou a compreender melhor os limites de sua abrangência e a constatação das diferenças entre as atividades executadas por uma cadeia de suprimentos e as atividades

executadas pela logística. Essa apreensão direcionou o surgimento de definições mais convergentes. Nesse sentido, Lambert (2001) afirma que o *Council of Logistics Management* (CLM) redefiniu o conceito de logística, estabelecendo que ele faz parte da cadeia de suprimentos, com a função de planejar, implementar, controlar e estocar o fluxo eficiente e efetivo de mercadorias, serviços e informações, assumindo uma dimensão espacial que vai da origem ao consumo do bem com o objetivo de atender aos requisitos do cliente. Em outras palavras, a cadeia de suprimentos é uma rede de vários negócios e relações. A partir dessa definição, Pires (2004) destaca que *Supply Chain Council* (SCC) estabeleceu que uma cadeia de suprimentos abrange todos os esforços envolvidos na produção e liberação de um produto final, desde o primeiro fornecedor do fornecedor até o último cliente do cliente. Quatro processos básicos definem tais esforços: o Planejar (*Plan*), o Abastecer (*Source*), o Fazer (*Make*) e o Entregar (*Delivery*). Para Pires *et al.* (2001) uma cadeia de suprimentos é uma rede de companhias autônomas ou semi-autônomas, que são efetivamente responsáveis pela obtenção, produção e liberação de um determinado bem ao cliente final.

Usando-se como parâmetro de análise a extensão da cadeia de suprimentos, pode-se perceber que ela envolve muitos parceiros comerciais. Na escala do fornecedor, estende-se até os setores de extração de minerais, cujas atividades comerciais estão diretamente ligadas às propriedades naturais da Terra. Na escala do cliente, estende-se até a responsabilidade social com o bem após ser descartado, envolvendo os processos de reciclagem ou reutilização, quando necessários (GUIDE JR e WASSENHOVE, 2002). Dada à amplitude dessa visão, ela se aproxima mais do conceito de cadeia produtiva do que do conceito de cadeia de suprimentos.

Considerando o conceito de cadeia de suprimentos estendida, Lambert, Cooper e Pagh (1998) a definem sob um ponto de vista mais direcionado. Eles partem dos objetivos de uma empresa, denominada “Focal” ou “Foco”, e estabelecem que a determinação da abrangência da cadeia de suprimentos é limitada pelas interações direta e indireta assumidas por ela com fornecedores e clientes, desde o ponto de origem até o ponto de consumo. A Figura 12 mostra a descrição de uma cadeia de suprimentos, na visão de Lambert, Cooper e Pagh (1998).

A partir do estabelecimento das relações na cadeia de suprimentos, conforme Figura 12, Lambert, Cooper e Pagh (1998) descrevem a estrutura dessa cadeia, a partir de três dimensões:

- **Estrutura horizontal:** composta pelo número de níveis da cadeia de suprimentos;
- **Estrutura vertical:** constituída pelo número de empresas em cada nível;

- **Posição da empresa foco:** define a localização horizontal da empresa foco dentro da cadeia de suprimentos; a empresa foco pode estar em qualquer ponto da cadeia estendida.

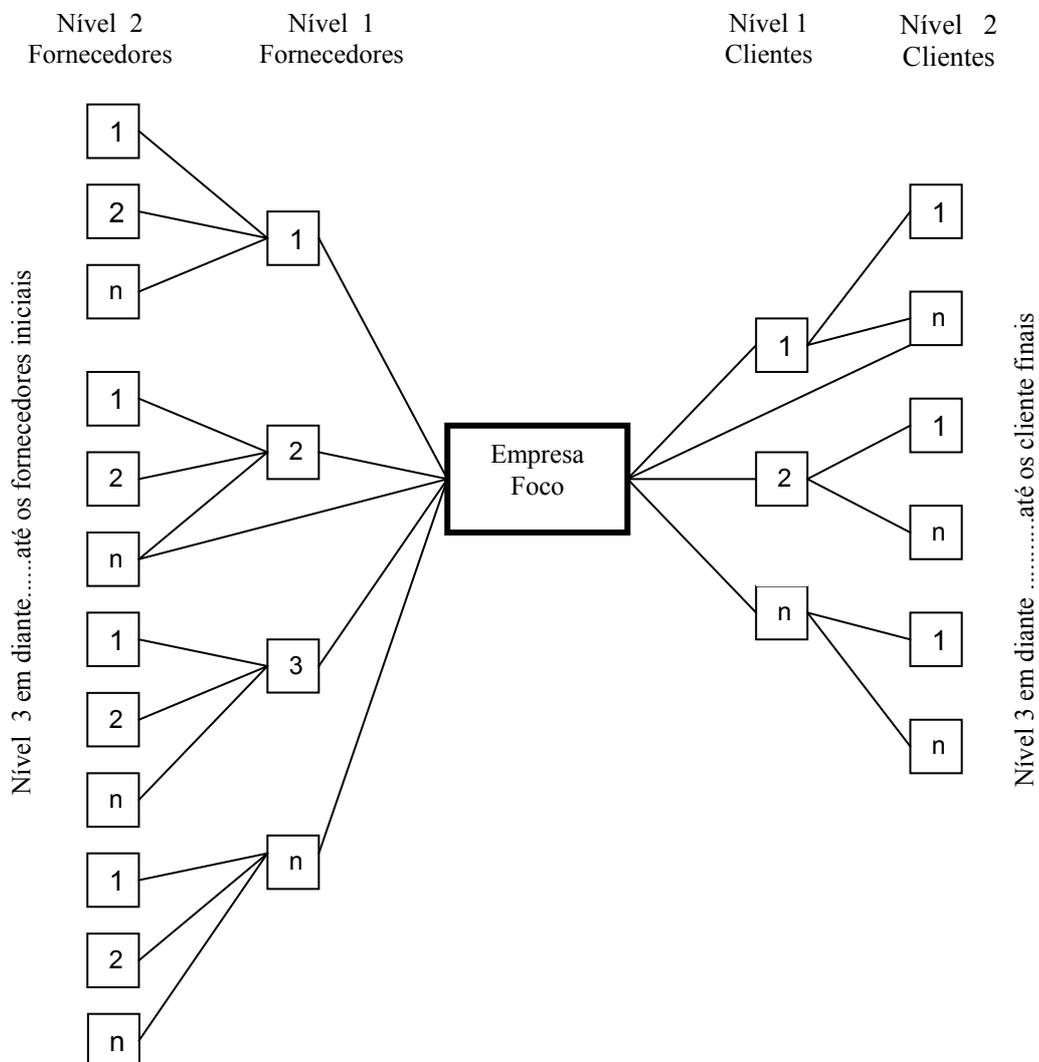


Figura 12: Estrutura de uma cadeia de suprimento. **Fonte:** Traduzido de Lambert, Cooper e Pagh (1998) – adaptado

Empregando a mesma lógica de estruturação da cadeia de suprimentos de Lambert, Cooper e Pagh (1998), Pires (2004) descreve uma cadeia de suprimentos a partir da empresa focal. A Figura 13 apresenta essa descrição.

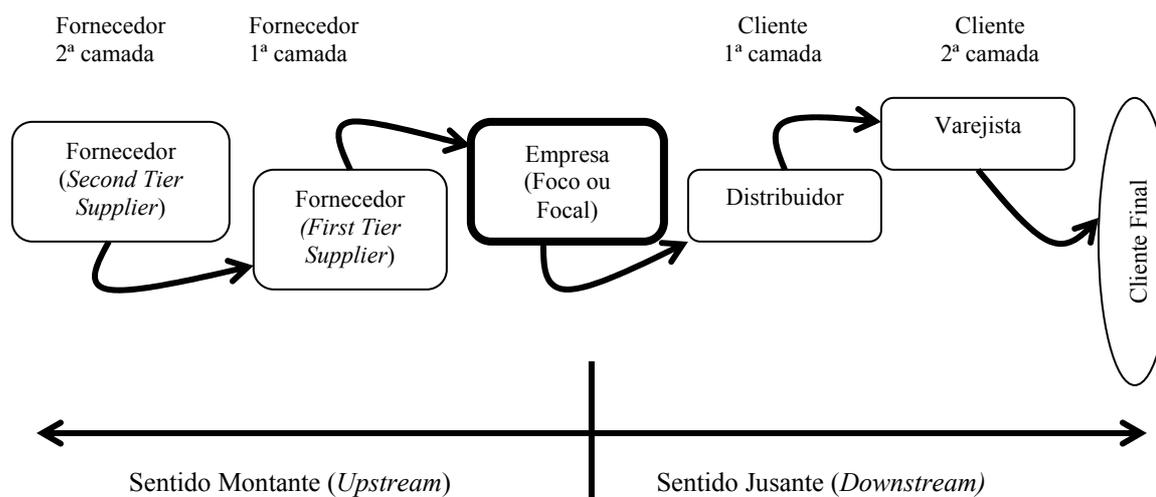


Figura 13: Representação de uma *Supply Chain* (SC). **Fonte:** Pires (2004, p.49) – adaptado.

Considerando a estrutura horizontal que, para Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Lambert (2001), é representada pelos **níveis** e para Pires (2004) e Slack (1993) por **camadas**, as Figuras 12 e 13 demonstram cadeias de suprimentos lideradas pela empresa focal. Elas se relacionam, diretamente, com um conjunto de fornecedores, denominados fornecedores de primeiro nível ou camada e indiretamente, com os fornecedores de segundo nível ou camada, e assim, sucessivamente, até a último nível ou camada de fornecedores. Os relacionamentos com os clientes ocorrem de modo direto (com os clientes de primeiro nível ou distribuidores) e de modo indireto (com os clientes de segundo nível ou varejistas) e com os clientes finais. Em outras palavras, em direção aos fornecedores, a empresa focal se relaciona **a montante** (*upstream*); em direção aos clientes, a empresa focal se relaciona **à jusante** (*downstream*), em analogia com a correnteza de um rio.

As interações existentes entre a empresa focal e sua cadeia de suprimentos são formadas por agrupamentos de relacionamentos situados à montante e a jusante da posição da empresa focal, como destacado. Nesse sentido, Lambert, Cooper e Pagh (1998) sugerem uma classificação dos membros que compõem uma cadeia de suprimentos em membros **primários** e membros de **apoio**. São membros primários as empresas ou unidades de negócios que executam atividades (operacional ou gerencial) com valor agregado em processos empresariais que visam atender a mercados específicos. Os membros de apoio são empresas ou unidades de negócios que dão suporte às atividades primárias, fornecendo recursos, conhecimento, informações, etc., apesar de não participarem diretamente do processo de agregação de valor.

Lambert (2001) destaca que uma empresa pode participar, ao mesmo tempo, de várias cadeias de suprimentos, conseqüentemente pode realizar atividades primárias em um relacionamento e atividades de apoio em outro, tanto dentro de uma mesma cadeia de suprimentos, como em cadeias de suprimentos diferentes.

A classificação de Lambert é útil, também, para identificar o ponto de origem e o ponto de encerramento da cadeia de suprimentos. No ponto de origem não existem fornecedores primários, somente de apoio. O ponto de encerramento é dado pelo ponto de consumo, a partir do qual não haverá criação de valor adicional.

Existem outras visões empregadas para descrever a atuação de uma cadeia de suprimentos. Slack (1993) propõe uma classificação que estabelece uma subdivisão em três níveis de abrangência: **rede total**, **rede imediata** e **rede interna**. Nessa abordagem, ele não menciona o termo “empresa focal”, mas, pela descrição estabelecida, observa-se que a análise parte da empresa foco, antecipando-se às abordagens de Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Pires (2004). A Figura 14 ilustra a descrição instituída por Slack (1993). O uso do termo “rede” é empregado pelo autor no mesmo sentido que outros autores empregam para o termo “cadeia”.

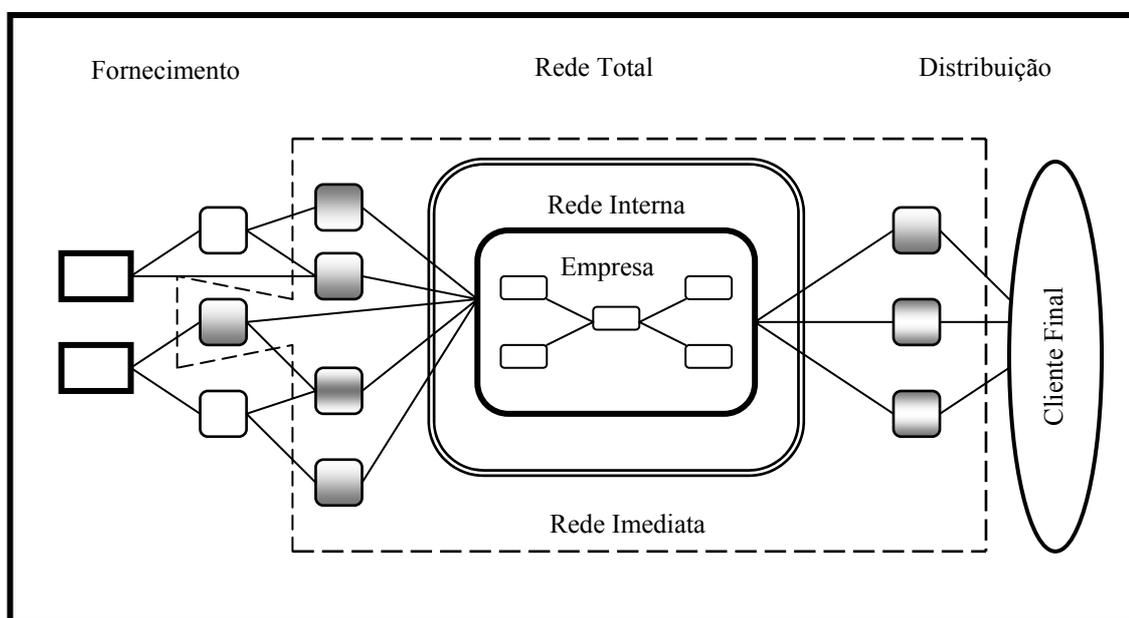


Figura 14: Cadeias de suprimento interna, imediata e total. **Fonte:** Slack (1993) – adaptado.

Nota-se, pela análise da Figura 14, que a rede total é composta pelo conjunto de redes imediatas, as quais constituem determinado setor industrial ou de serviços. A rede imediata é formada pelos fornecedores e pelos clientes imediatos de uma empresa específica. Para determiná-la, inicia-se por destacar uma empresa e, a partir dela, selecionar as interações diretas existentes nas diversas camadas que compõem a estrutura horizontal da rede. A rede

interna é composta pelos fluxos de informações e de recursos entre setores de uma mesma empresa.

Apesar de as questões relativas à gestão de cadeias de suprimentos terem avançado muito nos últimos anos, ainda não há uniformização para o termo “cadeia de suprimentos”. A literatura é permeada de expressões usadas como sinônimos, algumas vezes, e como complementos, outras vezes, causando complicação para a compreensão e determinação da abrangência de uma cadeia de suprimentos. Na seqüência, destacam-se algumas das abordagens no decorrer desta pesquisa.

Pires (2004) observa que um conjunto de autores, especialmente britânicos, preferem utilizar a expressão **Rede de Suprimentos** (*Supply Network*), ao invés de Cadeias de Suprimentos (*Supply Chain*). Nesse sentido, Lambert (2003), mesmo utilizando a expressão “cadeia de suprimentos”, reconhece que esse arranjo não representa uma cadeia de negócios com relacionamentos um a um, mas uma rede de trabalho (*Network*) com inúmeros negócios, influências e relacionamentos. Para Bovet e Martha (2001), está surgindo uma nova configuração de negócios, denominada **rede de valor** (*value net*). Segundo os autores, ela é diferente do conceito de cadeia de suprimentos, já que utiliza, como base conceitual, a definição de cadeia de suprimento digital. Uma rede de valor é um modelo de negócio que utiliza os conceitos da cadeia de suprimento digital. O objetivo é atender melhor ao cliente e aumentar a lucratividade da empresa. Para isso, é norteadada por algumas propriedades básicas: objetivos da rede, alinhados aos objetivos do cliente; possui visão sistêmica e colaborativa; tem estrutura ágil e flexível e é digital (BOVET e MARTHA, 2001, p.5). Essas propriedades indicam que a rede de valor é uma estrutura mais ampla que gerencia a cadeia de suprimentos da empresa.

Pires (2004), a partir dos trabalhos de Lamming *et al.* (2000), discute que o termo “cadeia” (*chain*) é uma metáfora imperfeita para tratar aspectos relativos à gestão de uma cadeia de suprimentos, já que o comportamento da cadeia é raramente linear. Sugere, assim, que o termo rede de suprimento (*Supply Network*) é mais adequado, pois considera ligações laterais, os *loops* reversos, as trocas em duas direções e posiciona a empresa focal como ponto de referência. Nesse sentido, uma rede de suprimentos combina um conjunto de cadeias de suprimentos. O termo cadeia de suprimentos foi mais difundido e, por isso, popularizou-se no ambiente acadêmico e empresarial. A rede de suprimento (*Supply Network*), na descrição de Pires (2004), a partir de Lamming *et al.* (2000), é interpretada de maneira estendida e dinâmica, como na visão de cadeia de suprimentos de Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Lambert (2001).

O campo do conhecimento, no qual é empregada a visão de cadeia de suprimentos, também, influencia a nomenclatura estabelecida. Na abordagem de Kotler (2001) desenvolvida e empregada na área de marketing, o termo **cadeia de demanda** é utilizado para expressar a lógica de projeção da cadeia, que acontece do ponto de identificação da demanda para trás. Nessa visão, parte-se da identificação do segmento de clientes desejados, buscando-se a formação de uma cadeia que agregue valor ao segmento. Além disso, o termo **rede de valor** é utilizado pelos autores com o mesmo significado de cadeia de demanda, argumentando que, na busca pelos clientes, terão maior sucesso as empresas que criarem uma rede de valor mais perceptível e consistente para os clientes (KOTLER,2001).

Em outros campos de conhecimento, o termo cadeia de demanda é, empregado como uma das partes componentes de uma cadeia de suprimentos, ou como sinônimo desta, o que pode ser conferido no trabalho de Vollmann, Cordon e Raabe (1996).

Gasparetto (2003, p.39) destaca que os termos “cadeia de suprimentos (fornecimento)” e “cadeia de distribuição (ou demanda)” referem-se à conceituações que surgiram a partir do interesse dos pesquisadores que as utilizavam. O primeiro termo trata das etapas anteriores à empresa, e o segundo trata das etapas posteriores à empresa, as quais envolvem os clientes. Para a autora, o uso generalizado, na literatura, do termo “cadeia de suprimentos”, para representar relacionamentos a montante ou a jusante da empresa, deve-se à propagação dos movimentos *just in time* e aos programas de qualidade que defendiam relacionamentos mais próximos, confiáveis e cooperativos, ao invés de relacionamentos adversos. A partir desses movimentos, o termo cadeia de suprimentos foi empregado para designar os relacionamentos da empresa com os fornecedores e, posteriormente, com os clientes intermediários e finais (GASPARETTO, 2003).

De acordo com as discussões apresentadas nesta seção, nota-se que, apesar do avanço nas abordagens sobre cadeias de suprimentos, existem muitos conceitos diferentes para tratá-las. Neste trabalho, será empregada, somente, a designação “cadeia de suprimentos”. O conceito utilizado é o estabelecido por abranger os relacionamentos a montante (desde fontes de recursos) e a jusante (ao cliente final) da empresa focal, perfazendo uma rede de empresas que podem atuar em vários níveis, considerando a dinâmica das interações nos sentidos horizontal e vertical. A Figura 12 é uma representação desse conceito. O conceito de cadeia de suprimentos, estabelecido por Slack (1993) e representado na Figura 14 também é utilizado neste trabalho, já que se restringe a trabalhar, apenas, com os membros imediatos da cadeia de suprimentos. Adota-se o termo “cadeia”, não no sentido reduzido (menor que rede), mas

como um termo padrão que facilita o entendimento das discussões e signifique relacionamentos compartilhados entre empresas que fazem parte de arranjos empresariais.

Além disso, a abordagem estabelecida por Lambert, Cooper e Pagh (1998) abrange e fundamenta outras abordagens, como a de Slack (1993), a de Pires (2004) e a de Gasparetto (2003), para citar algumas.

Neste trabalho, associa-se à formação dos diferentes arranjos empresariais a visão das Ciências da Complexidade, por isso o conceito de cadeia de suprimentos utilizado deve considerar a dinâmica das interações e a contribuição que as diferentes partes agregam na gestão do todo, aspectos contemplados pela definição selecionada.

Na seqüência, na próxima seção, discutem-se questões relacionadas às cadeias produtivas que, como apresentado, alguns autores tratam como se fossem cadeias de suprimentos. Neste trabalho, assume-se uma cadeia produtiva como um tipo de arranjo empresarial diferente do arranjo, cadeia de suprimentos.

4.2.3 CADEIA PRODUTIVA (*FILIERE*)

O surgimento dos termos “cadeia produtiva” e “análise da cadeia produtiva”, no Brasil, é associado ao desenvolvimento do conceito de *filière* e da *analyse de filière*, na França e na Inglaterra, na década de 1930. Na França e na Inglaterra, a *analyse de filière* foi um conceito desenvolvido em paralelo às discussões sobre a modelagem sistêmica como alternativa à modelagem reducionista (ver Capítulo 3, seções 3.2.1 e 3.2.2), por isso incorporava uma visão mais integrada e dinâmica dos fenômenos. Entretanto, a *analyse de filière* somente foi amplamente difundida na década de 1960 e direcionada para o setor agrícola (OASHI,1999). No Brasil, a visão de *filière* foi extrapolada para outros setores industriais, além do setor agrícola. Esse fato pode ter induzido alguns autores a discordarem de que a abordagem de cadeia produtiva fosse igual à abordagem de *filière*.

Neste trabalho, considera-se que cadeia produtiva e *filière* são conceitos idênticos, de acordo com as descrições de Oashi (1999), Batalha (1997) Batalha e Silva (2001) e Pires (2004).

Alguns trabalhos identificados na literatura relacionam o estudo das cadeias produtivas a questões mais abrangentes, como a abordagem referente à análise da competitividade sistêmica. Essa abordagem decorre da lógica integrada de formação e de funcionamento de

uma cadeia produtiva. Outros trabalhos trazem abordagens mais específicas, concentrando-se em definir a estrutura da cadeia produtiva e suas inter-relações específicas.

Nesse sentido, Oashi (1999), reportando-se aos trabalhos Montiguad, descreve três abordagens possíveis para a análise da cadeia produtiva: a cadeia na sua totalidade, o estudo de suas estruturas e as relações dentro das cadeias e o comportamento estratégico das empresas. Oashi (1999, p.27) apresenta, como principal vantagem do estudo das cadeias produtivas, a delimitação de um campo de investigação, de acordo com os objetivos do estudo, que permite ao observador empregar as ferramentas mais apropriadas à análise.

Na seqüência, nas duas próximas seções, discutem-se essas abordagens.

4.2.3.1 A cadeia produtiva e a abordagem da competitividade sistêmica

A Ciência Econômica, em particular a Economia Industrial, foi a área do conhecimento na qual se desenvolveu o conceito de cadeia produtiva. Como essa ciência possui dois grandes ramos: a macroeconomia e a microeconomia, a abordagem de *filière* seguiu essa tendência, concentrando-se mais no ramo macroeconômico. Assim, o conceito de *filière* era empregado, na França, como instrumento dos estudos macroeconômicos, denominado mesoanálise (OASHI, 1999). Nesse sentido, Batalha (1997) descreve a mesoanálise como uma proposta para ocupar o espaço existente entre a microeconomia e a macroeconomia. A microeconomia estuda as unidades de base da economia (empresa, consumidor, etc.) para, a partir das partes, explicar o comportamento do todo. A macroeconomia estuda os grandes agregados econômicos (estado, países, etc.) para, a partir do todo, explicar as partes (PIRES, 2001, p.75).

A mesoanálise foi um termo que surgiu com os estudos das cadeias produtivas. Souza (2001, p.27), reportando-se a Kliemann, afirma que a mesoanálise é a análise estrutural e funcional dos subsistemas e de suas interfaces e interdependências dentro de um sistema produtivo integrado. Pires (2001) destaca o emprego da mesoanálise nos estudos sistêmicos da competitividade, desenvolvidos pelo Instituto de Desenvolvimento Alemão (IMD), o qual estabelece quatro níveis de análise: meta, macro, meso e micro para compreender e intervir na situação competitiva de uma região.

O **nível meta** é composto pelas variáveis mais lentas na competitividade, como as estruturas socioculturais e a capacidade dos atores regionais para formularem visões e estratégias (PIRES, 2001). Refere-se à sociedade civil, envolvendo a capacidade de

estabelecer um padrão nacional de organização jurídica, política, econômica e macrosocial que favoreça a competitividade (KLIEMANN e HANSEN, 2002).

O **nível macro** é constituído pelas condições macroeconômicas em gerais (PIRES, 2001). Busca-se um ambiente macroeconômico estável, o estabelecimento de uma política de concorrência e de uma política cambial (KLIEMANN e HANSEN, 2002).

O **nível meso** se concentra nas instituições e nas políticas específicas para o desenvolvimento regional, destacando políticas e instituições especificamente dedicadas à criação de vantagens competitivas (PIRES,2001). Kliemann e Hansen (2002) destacam que, nesse nível, podem surgir entraves específicos na infra-estrutura, nas políticas comerciais e setoriais e nos sistemas normativos.

O **nível micro** representa as empresas e as redes de empresas e o modo como elas se organizam para se tornarem mais competitivas (PIRES,2001). Os elementos fundamentais desse nível são os fatores internos: práticas organizacionais, inovação e gestão tecnológica interna e a relação com os fornecedores (KLIEMANN e HANSEN, 2002).

Para Pires (2004), o conceito de mesoanálise localiza-se no espaço intermediário entre a macroeconomia e a microeconomia. Em outras palavras, entre o nível macro e agregado e o nível das empresas e dos clientes. Nesse espaço inserem-se as principais questões referentes às cadeias produtivas.

Em cada nível, há agentes individuais que interagem no nível em que se manifestam e com outros agentes de outros níveis, podendo as interações afetar outros agentes de outros níveis.

Apesar da discussão dos níveis de análise da competitividade sistêmica está associada às cadeias produtivas, a análise da competitividade pode ser feita considerando outros arranjos empresariais, como a própria classificação de níveis indica.

4.2.3.2 A estrutura de formação da cadeia produtiva

Para Morvan (1985, p.30), uma *filière* é uma seqüência de operações de transformações, simultaneamente, dissociáveis e ligadas por um encadeamento técnico. Ela é representada por um conjunto de relações comerciais e financeiras, formando um fluxo de mudança de montante (sentido dos fornecedores) a jusante (sentido clientes) da empresa selecionada, além de garantir a articulação entre essas operações. Kliemann (2003) define uma *filière* como uma seqüência de atividades empresariais associadas à contínua transformação de bens, do estado bruto ao estado acabado. Malheiros (1991) descreve a

cadeia produtiva a partir da identificação da matéria-prima, que, após sucessivas transformações, dão origem ao produto final. Batalha (1997) e Pires (2001) explicam uma cadeia produtiva a partir da identificação de um determinado produto final, seguido pelo encadeamento de várias operações técnicas, comerciais e logísticas, de montante a jusante, operações necessárias à configuração da cadeia produtiva. Para Batalha (1997), o principal indutor de mudança no *status quo* do sistema são as imposições estabelecidas pelo consumidor final. Pires (2004) apresenta um enfoque diferenciado para a descrição da cadeia produtiva. Ele a descreve como um conjunto de atividades que representa, genericamente, determinado setor industrial. Por exemplo, a cadeia produtiva da indústria automobilística, da indústria de calçados, da indústria de computadores, etc.

Nota-se, analisando-se as definições apresentadas, que a cadeia produtiva pode ser configurada, tanto a partir de uma matéria-prima como a partir da determinação de um produto final. Nos dois casos, ela é composta por dois níveis: **a cadeia principal e as cadeias auxiliares**. Segundo Labonne (1985), a cadeia principal é formada por atividades direcionadas aos objetivos principais da cadeia, já as cadeias auxiliares são formadas por atividades que contribuem para o eficaz funcionamento da cadeia principal. O autor destaca que as cadeias auxiliares participam tanto a montante como a jusante das cadeias principais, com o objetivo de realizar as funções técnicas que tornem possível explorar e valorar os recursos naturais: matéria-prima, energia e produtos intermediários, contribuindo para a elaboração de produtos finais. Pires (2001) destaca que as cadeias auxiliares executam atividades indiretas e de suporte ao objetivo principal da cadeia. Elas estão subordinadas às cadeias principais com as quais interagem dinamicamente, oferecendo o suporte necessário para a execução de suas atividades. A Figura 15 mostra, de acordo com Pires (2001,p.76), a representação de uma cadeia produtiva.

A Figura 15 mapeia as relações existentes no exemplo da cadeia produtiva de móveis. Nota-se que, na abordagem estabelecida, o objetivo principal da empresa é estruturado numa cadeia produtiva principal e, em paralelo, estrutura-se uma cadeia auxiliar que fornece subsídios para os objetivos principais serem atingidos. A representação de uma cadeia produtiva, por exemplo, a cadeia da indústria de móveis, expressa, genericamente, todas as empresas que pertencem à cadeia produtiva da indústria de móveis, independente de sua localização geográfica.

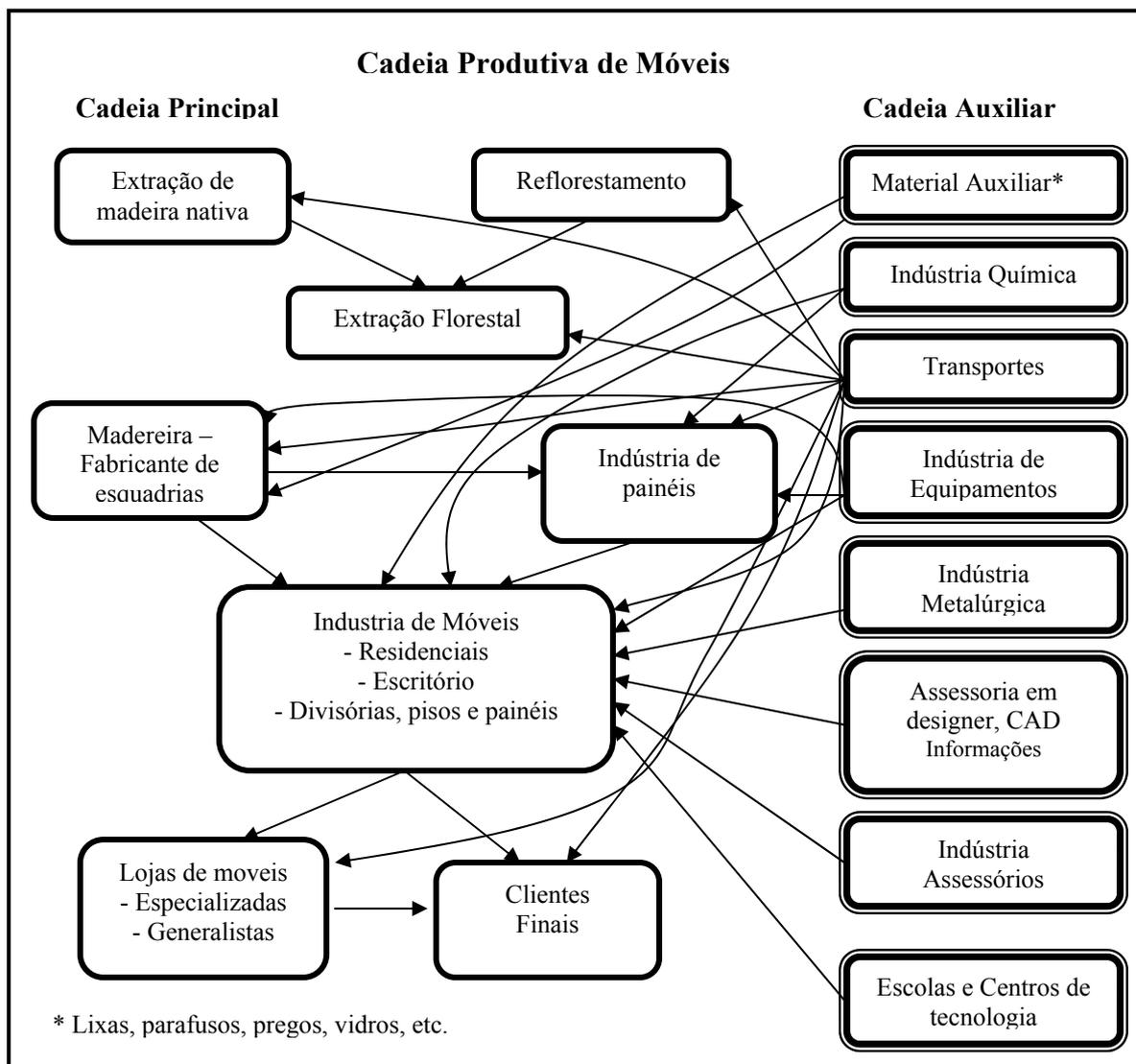


Figura 15: Exemplo de uma cadeia produtiva de móveis. **Fonte:** Pires (2001, p.76)

Labonne (1995), analisando a atuação de uma *filière*, argumenta que a *filière* principal contribui diretamente com a satisfação das necessidades humanas em permanente evolução, fundamentais, portanto, à vida dos homens (MALHEIROS, 1991). As *filières* auxiliares cumprem uma função acessória, mas essencial à satisfação das necessidades humanas, por disponibilizar os meios para as *filières* principais cumprirem seu objetivo (LABONNE, 1995).

A bibliografia consultada demonstra que as *filières* são os arranjos empresariais mais antigos, coincidindo com a incorporação da abordagem sistêmica ao ambiente científico ocidental. As principais utilizações são descritas por Morvan (1995), Pires (2001), Batalha e Silva (2001), subdivididas em cinco aplicações mais usuais: (1) na formulação de políticas públicas e privadas; (2) como metodologia de divisão setorial do sistema produtivo; (3) como ferramenta de descrição técnico-econômica; (4) como ferramenta de análise das inovações

tecnológicas e de apoio à tomada de decisão tecnológica e (5) como metodologia de análise de estratégias das firmas.

Pires (2001, p.80) destaca que o maior benefício conseguido a partir dos estudos de uma cadeia produtiva é a possibilidade de ampliação da compreensão do contexto em que as empresas estão inseridas, proporcionando-lhes a percepção sistêmica de sua competitividade.

4.2.4 SUMÁRIO DOS PRINCIPAIS ARRANJOS EMPRESARIAIS DISCUTIDOS

Nas seções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, foram discutidos os três principais arranjos empresariais para os objetivos deste trabalho: a cadeia de valor (*value chain*), a cadeia de suprimentos (*supply chain*) e a cadeia produtiva (*filière*), que apresentam as abordagens e as abrangências peculiares deles. O Quadro 13 mostra os aspectos mais relevantes considerados nas discussões.

Cadeia de valor <i>(value chain)</i>	Cadeia de suprimentos <i>(supply chain)</i>	Cadeia produtiva <i>(filière)</i>
Principal Conceito: Porter (1989).	Principal Conceito: Lambert, Cooper e Pagh (1998); Slack (1993).	Principal Conceito: Labonne (1995).
Abrangência: análise de uma empresa e dos elos responsáveis pelo desempenho de sua competitividade.	Abrangência: análise da empresa em conjunto com sua rede de relações, a montante e a jusante da empresa focal, em todos os níveis.	Abrangência: análise que abrange todo um setor, por exemplo, o automobilístico.
Fatores de análise: - Classificação das atividades primárias e das atividades de apoio. - Cada empresa possui sua própria cadeia de valor.	Fatores de análise: - Empresa focal; - Assume um formato diferente para cada empresa, mesmo que produza produtos iguais; - Número de níveis envolvidos na análise; - Pode fazer parte de uma ou de várias cadeias produtivas.	Fatores de análise: - Mesoanálise - Parte-se de uma matéria-prima ou de um produto final; - Cadeia principal e auxiliar; - Identificam-se as etapas direta e indireta envolvidas na transformação do produto.

Quadro 13: Aspectos relevantes da cadeia de valor, de suprimentos e produtiva.

Apesar dos avanços nas discussões acadêmicas e empresariais em decorrência do reconhecimento e da importância da gestão conjunta, para o ganho de competitividade no mercado, os conceitos de cadeia de valor, cadeia de suprimentos e cadeia produtiva ainda apresentam muitas percepções diferentes e pouca homogeneidade nas interpretações. Isso confunde o entendimento dos limites de cada abordagem. Buscou-se discutir o contexto de cada um dos arranjos descritos, a partir da análise de uma empresa em particular. O objetivo foi destacar aspectos que facilitem a compreensão e diferenciação de cada um dos arranjos empresariais apresentados.

Na seqüência, discutem-se aspectos relacionados à gestão de uma cadeia de suprimentos, já que é o arranjo empresarial utilizado na validação da modelagem proposta nesta pesquisa.

4.3 GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Nesta seção, discutem-se alguns aspectos que devem ser considerados na gestão da cadeia de suprimentos. Inicia-se pela emergência do termo ‘gestão da cadeia de suprimentos’. Em seguida, abordam-se a configuração dela e a importância da representação de suas relações, discutindo-se os tipos de relacionamentos gerados no processo de gestão de uma cadeia de suprimentos. Por fim, destacam-se alguns instrumentos, com base na tecnologia da informação, que podem ser empregados para a integração de uma cadeia de suprimentos.

4.3.1 EMERGÊNCIA DA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

(SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)

Como apresentado no Quadro 10, a evolução nas formas de gestão da produção, o advento da economia globalizada, as maiores exigências do mercado e a busca por diferenciação impõem a necessidade de uma gestão mais integrada, cooperativa e compartilhada em substituição ao modelo competitivo isolado e fechado. Desse modo, os arranjos empresariais vão se formando e se fortalecendo no mercado, com o aparecimento de várias nomenclaturas, como: cadeias produtivas, cadeias de valor, cadeias de suprimentos, cadeias de fornecimento, cadeias de demanda, redes virtuais, etc.

Pires (2004) argumenta que não há, na literatura, um marco histórico que delimite o surgimento do termo *Supply Chain Management* (SCM), como existem, para alguns, outros termos. Relata-se que o termo “SCM”, na literatura, começou a ser incorporado desde a década de 1960, apesar da difusão recente.

Evans e Danks (1998) destacam que a utilização do termo “SCM” iniciou-se na década de 1970, para representar a integração necessária entre os almoxarifados dos armazéns e o transporte nos processos de distribuição. O objetivo dessa integração era reduzir o custo interno de estoques e distribuição. Nesse sentido, Lambert, Cooper e Pagh (1998) estabelecem que as premissas que norteiam a SCM já podiam ser notadas desde a década de 1960, externadas pela preocupação em administrar relações entre empresas e integrar canais.

Pires (2004), reportando-se aos trabalhos de Franciose (1995), aponta que o termo “SCM” teria sido utilizado, pela primeira vez, por *Jonh B. Houlihan*, em 1985, em um artigo para o *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, no qual o autor apresenta uma nova abordagem que integra diversos conceitos existentes. Lambert, Cooper e Pagh (1998) afirmam que o termo apareceu, originalmente, em 1982, mas somente foi oficialmente descrito no âmbito acadêmico no final da década de 1980. Para Harland (1996), o termo “SCM” surgiu no início da década de 1980, com os trabalhos de Oliver e Webber, publicados em 1982, que discutiam as possíveis vantagens da integração das funções de compras, fabricação, vendas e distribuição. Harland lembra que, na década de 1990, o uso do termo estava em crescente expansão, mas era empregado com uma abrangência menor que a abrangência do termo na atualidade.

Nota-se que não existe consenso sobre o período em que a SCM foi estabelecida oficialmente, confirmando-se o argumento de Pires (2004) de que não há um marco histórico que defina o aparecimento do termo. Outras abordagens, identificadas na literatura, como Senge (1998) e Johnston e Lawrence (1997), apontam para a evolução da gestão isolada para a gestão integrada, sem um prévio planejamento estabelecido, mas pela impossibilidade de uma empresa sozinha se manter eficientemente no mercado, competindo com conglomerados globais. Assim, as relações de parcerias, com enfoque ganha-ganha, foram surgindo como alternativa de fortalecimento pela sinergia de objetivos e estratégias.

Na trajetória de evolução do conceito de cadeia de suprimentos, emergiram muitos e diferentes conceitos com abrangência própria (ver seção 4.2.2). A partir do conceito e da abrangência assumida por determinada empresa, a gestão da cadeia dessa empresa adquiriu a lógica do conceito. Por isso, a gestão da cadeia de suprimentos é, muitas vezes, confundida com a gestão da logística e com a gestão de transporte. Isso acontece, porque existe, no Brasil, uma suposição de que transporte é sinônimo de logística e que suprimento é sinônimo de abastecimento (PIRES, 2004).

Pires (2004), a partir dos trabalhos de Lummus e Vokurka (1999), destaca que muitos esforços em SCM têm sido incompletos, porque consideram, apenas, o lado do abastecimento, a relação da empresa com os fornecedores.

Discute-se, na seqüência, algumas interpretações dadas à gestão da cadeia de suprimentos, no atual ambiente empresarial.

4.3.1.1 Definições para SCM

As definições de SCM se fundamentam no conceito estabelecido para a cadeia de suprimentos, por isso podem assumir diferentes abordagens e configurações. Pires (2004, p.62) afirma que as definições para a SCM são fundamentadas em áreas tradicionais da empresa e se originam, pelo menos, de quatro principais áreas: ***gestão da produção, logística, marketing e compras***.

Tan (2001) descreve a gestão da cadeia de suprimentos à montante e à jusante da empresa foco. A gestão a montante iniciou-se nas áreas tradicionais: compras e suprimentos. Com esse enfoque, os fornecedores colaboram para o desenvolvimento do produto, buscando componentes de menor custo e maior desempenho, identificando tecnologias mais apropriadas. Já a gestão da cadeia de suprimentos, no sentido inverso, a jusante da empresa foco é fruto da busca por diferenciação nos prazos de entrega (transporte) e na redução de estoque (logística interna). Essas funções envolvem a gestão de estoque, relação com vendedores, transporte, distribuição e entrega (TAN, 2001).

A definição da gestão da cadeia de suprimentos, do ponto de vista do *marketing*, concentra-se, usualmente, a jusante da empresa foco, excluindo os fornecedores da análise. A esse respeito, Lambert (2003) lembra que essa abordagem desconsidera uma parte da cadeia: os fornecedores e o processo de fabricação, direcionando esforços às atividades de *marketing* e aos fluxos através de seus canais de distribuição. Além disso, ignora a necessidade de integrar e gerenciar múltiplos processos de negócio dentro da empresa foco e através da empresa dentro de sua cadeia de suprimentos (LAMBERT, 2003).

Seguindo a linha de abordagens mais integradas e menos tradicionais, a *Global Supply Chain Forum* (GSCF) define a Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM) como a integração dos processos de negócios desde o usuário final até os fornecedores originais (primários), providenciando produtos, serviços e informações com adição de valor aos clientes e aos *stakeholders* (PIRES, 2004, p.58).

Para Harland (1996), a SCM é formada pela gestão das atividades de negócios e relacionamentos: dentro da empresa e na organização com os fornecedores imediatos; com os fornecedores de primeira e segunda camadas e com os clientes ao longo da cadeia de suprimentos.

A SCM pode, também, ser classificada como um conjunto de práticas que visam à gestão e coordenação de uma cadeia de suprimentos, desde os fornecedores de matéria-prima básica até o cliente final. O objetivo desse enfoque é melhorar o processo produtivo ao longo

da cadeia de suprimentos, não apenas de uma de suas unidades de negócios (HEIKKILA, 2002).

Seguindo essa mesma lógica, a SMC se define como a coordenação sistêmica e estratégica das tradicionais funções de negócios dentro e através da empresa, em sua cadeia de suprimentos. Com isso se pretende melhorar o desempenho das empresas no longo prazo, individualmente, e da cadeia de suprimentos como um todo (MENTZER *et al.*, 2001).

Nota-se, das definições apresentadas, que não existe uma padronizada para designar a gestão de uma cadeia de suprimentos, como também não há um padrão para o conceito de cadeia de suprimentos. Elas variam conforme os objetivos, o conhecimento e a abrangência assumidos pelo observador da cadeia. O objetivo, ao explicitar algumas definições, é mostrar as mais coerentes com o conceito de cadeia de suprimentos, discutidas e utilizadas neste trabalho, além de oferecer suporte às discussões relacionadas as configurações assumidas pela estrutura da cadeia de suprimentos, tema abordado na próxima seção.

4.3.2 CONFIGURAÇÕES ASSUMIDAS PELA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Nesta seção, discutem-se algumas configurações assumidas pelas cadeias de suprimentos em busca de maior competitividade, conhecimento e domínio das relações.

Inicialmente, aborda-se a visão tradicional assumida pelas empresas, há muito tempo, na qual se considerava que a competição acontecia entre as unidades de negócios (*business units*) ou empresas que competiam pelos mesmos clientes. A SCM introduz uma nova visão. Ela considera que a competição acontece, também, entre as cadeias de suprimentos e não mais, somente, entre as empresas isoladas, como estabelece o tradicional trabalho de Porter (1989) (VOLLMANN, CORDON, RAABE, 1996). Lambert, Cooper e Pagh (1998) lembram que é muito raro uma empresa participar apenas de uma cadeia de suprimentos. Essa mudança leva a um novo modelo competitivo, com base em unidades de negócios virtuais, compostas por várias empresas, que são membros de uma cadeia de suprimentos, competindo com outras unidades de negócios virtuais, compostas por outras cadeias de suprimentos. A Figura 16 ilustra essa visão (VOLLMANN, CORDON, RAABE, 1996).

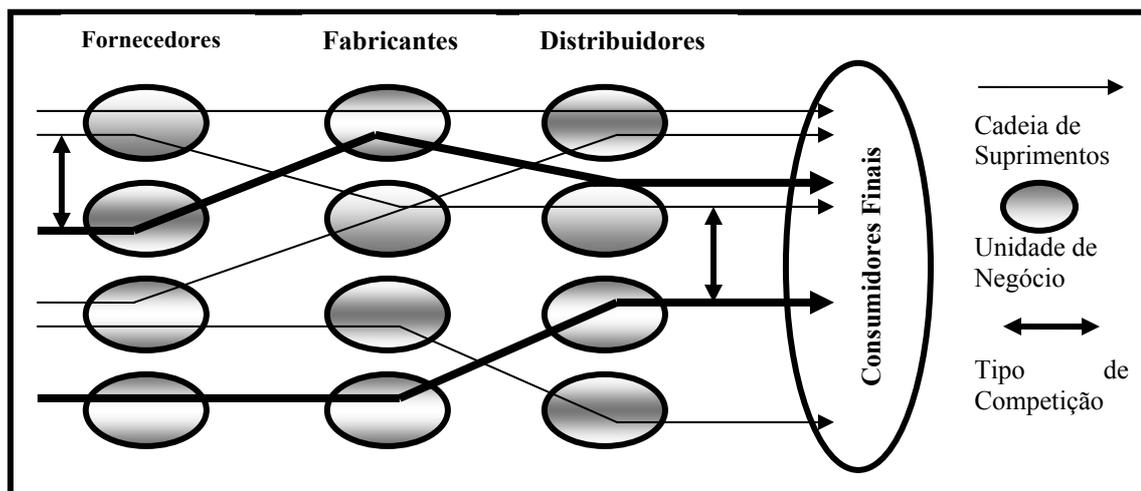


Figura 16: Competição entre as unidades de negócios virtuais. **Fonte:** Traduzido de Vollmann, Gordon e Raabe (1996)

Analisando-se a Figura 16, percebe-se que uma unidade de negócio pode participar de muitas unidades de negócios virtuais. Cada empresa que compõe a unidade de negócio virtual se preocupa com a competitividade do produto, do ponto de vista do cliente final, e com o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. No entanto, os formatos assumidos pelas cadeias de suprimentos estão diretamente relacionados às competências desenvolvidas internamente pelas empresas, à flexibilidade na adaptação ao mercado, aos produtos produzidos, aos processos compartilhados e à representação de seus relacionamentos, fatos que direcionam o tipo de gestão empregada na cadeia de suprimentos.

Além disso, a trajetória seguida pela cadeia de suprimentos é norteada pela lógica que ela assume para administrar os relacionamentos. Nesse sentido, Mentzer *et al.* (2001) apresentam três lógicas em que a SCM pode se concentrar. O Quadro 14 mostra essas lógicas.

Lógicas assumidas pela SCM	
Como uma Filosofia gerencial	<ul style="list-style-type: none"> - Considera uma abordagem sistêmica para visualizar a cadeia de suprimentos em sua totalidade; - Gerencia o fluxo total de bens dos fornecedores aos clientes finais; - Segue uma orientação estratégica na canalização dos esforços cooperativos para sincronização e convergência das capacidades estratégicas e operacionais, dentro e entre as empresas em um todo unificado.
Como um conjunto de atividades para implementar uma filosofia gerencial	<ul style="list-style-type: none"> - Ações integradas entre fornecedores e clientes; - Compartilhar informações ao longo da cadeia de suprimentos; - Promover a colaboração entre as empresas da cadeia de suprimentos; - Dividir riscos e ganhos; - Ter os mesmos objetivos e o mesmo foco no atendimento do cliente final; - Integrar processos do abastecimento a distribuição; - Criar parcerias para construir e manter relacionamentos em longo prazo.
Como um conjunto de processos de negócios gerenciais	<ul style="list-style-type: none"> - O foco de cada processo é atingir as necessidades do cliente; - A empresa é organizada em torno dos processos-chave; - Separação entre os processos operacionais e os processos de suporte ao gerenciamento.

Quadro 14: Lógicas assumidas pelas SCM. **Fonte:** Mentzer, *et al.* (2001) – adaptada.

O Quadro 14 apresenta três lógicas direcionadoras da SCM. A primeira considera a SCM como uma filosofia gerencial que assume um formato sistêmico, no qual fornecedores e clientes são vistos como um sistema integrado, ao invés de um conjunto de partes fragmentadas. A segunda reconhece a SCM não como uma filosofia gerencial, mas como um conjunto de atividades que servem para implantar uma filosofia gerencial. Nesse ponto de vista, as empresas devem ser mais pontuais, concentrando-se em atividades que permitam implementar, com eficiência, uma filosofia sistêmica de SCM. A terceira destaca a importância dos processos de negócios associados à tecnologia da informação na SCM. O objetivo dessa lógica é organizar as funções de uma cadeia de suprimentos com base nos processos-chave de negócios das empresas componentes da cadeia (LAMBERT, COOPER E PAGH, 1998).

Percebe-se, também, observando-se o Quadro 12, que as lógicas apresentadas são complementares e expressam a abrangência, a diversidade de visões e as experiências que, segundo Mentzer *et al.* (2001), segmentam as definições existentes para a SCM. Neste trabalho emprega-se o somatório dessas lógicas.

Assim, as empresas membros da cadeia de suprimentos, cada uma concentrada nas **competências essenciais** (*core competences*) e seguindo uma lógica funcional, colaboram de modo complementar para a efetiva SCM.

Nesse sentido, Fine *et al.* (2002) destacam a importância que deve ser dada à escolha e definição das *core competences* que cada empresa da cadeia de suprimentos deverá assumir. Os autores ressaltam que isso pode ser um fator determinante para o sucesso da SCM. De modo mais aprofundado, Vollmann, Cordon, Raabe (1996) complementam as percepções de Fine *et al.* (2002), lembrando que, no processo de determinação das *core competences*, a empresa focal possui papel fundamental. Os autores sugerem que a empresa focal analise quais fornecedores, clientes e demais envolvidos poderão trazer vantagens sinérgicas em longo prazo, avaliando essas questões através das competências que elas possuem e da importância para cada uma delas.

Vollmann, Cordon, Raabe (1996) estabelecem uma classificação dos membros da cadeia de suprimentos em: competências distintivas, qualificadoras e básicas. As **competências distintivas** são as que trazem diferenciação ao produto, já que fornecem vantagem competitiva única. As **competências qualificadoras** são aquelas essenciais à competitividade de um determinado tipo de negócio. As **competências básicas** são tarefas que devem ser cumpridas, mas que não contribui para a diferenciação do produto final.

O conhecimento dessas competências e a identificação delas em cada um dos membros da cadeia de suprimentos pode levar a relacionamentos mais planejados e efetivos. Para tanto, prioriza-se o estabelecimento de relacionamentos entre fornecedores e clientes que possuam competências distintivas. Além disso, pode gerar relações mais sinérgicas, em decorrência da seleção das empresas parceiras serem feitas e organizadas conforme as competências que complementam os membros da cadeia. A classificação das competências, também, pode ser útil para mostrar que uma empresa que se concentra em competências básicas, em determinado momento, precisa evoluir para competências mais avançadas.

A **flexibilidade** para se adaptar às mudanças é um fator importante na manutenção da competitividade e na estabilidade dos relacionamentos estabelecidos numa cadeia de suprimentos. Pires (2004) destaca os adjetivos enxuto (*lean*) e ágil (*agile*) para qualificar as cadeias de suprimentos. O termo enxuto está relacionado à eliminação de anormalidades e de práticas que causam desperdícios nos processos ao longo da cadeia de suprimentos. O termo ágil corresponde à capacidade de adaptação da cadeia que responda rapidamente às mudanças do mercado. Enquanto a produção enxuta é um dos elementos para a agilidade da cadeia de suprimentos, para ser ágil o sistema produtivo precisa de recursos extras os quais podem comprometer o desempenho enxuto da cadeia. Como exemplo, o autor discute a eliminação dos desperdícios, na interface da empresa focal com o fornecedor. Essa prática não garante o aumento na agilidade do relacionamento com ele. A agilidade é mais influenciada pelo modo de comunicação utilizada (PIRES, 2004, p.77).

De acordo com essa abordagem, Fisher (1997) lembra que nem todos os mercados exigem cadeias de suprimentos ágeis. A agilidade, para o autor, é criada em função dos produtos demandados, os quais classifica em **funcionais e inovadores**. A demanda dos produtos funcionais é previsível, o ciclo de vida é longo; possuem baixa variedade e altos volumes. Para produzi-los, a lógica da produção enxuta é a mais adequada. A demanda dos produtos inovadores é menos previsível e mais volátil, o ciclo de vida é curto e têm grande variedade. Para produzi-los, a lógica de produção ágil é a mais apropriada (FISHER ,1997; PIRES, 2004).

Nota-se que as características dos produtos fabricados na cadeia de suprimentos devem ser criteriosamente analisadas na construção dela, pois, algumas vezes, esta precisa ser mista, enxuta e ágil ao mesmo tempo. Nesse sentido, Christopher e Towil (2000) destacam que, para uma cadeia de suprimentos ser ágil, precisa possuir algumas propriedades:

— **Ser sensível às condições do mercado:** capacidade de se ajustar às condições do mercado com rapidez. Para isso, podem-se utilizar instrumentos como ECR (*Efficient Consumer*

Response), para capturar as informações da demanda diretamente dos pontos de venda, transmitido-as a jusante da cadeia de suprimentos.

- **Ser virtual:** competência para compartilhar informações ao longo da cadeia de suprimentos com a ajuda da tecnologia da informação.
- **Possuir processos integrados:** alinhar os objetivos estratégicos e as competências da cadeia e integrar os processos-chave.
- **Ser baseada em redes colaborativas:** a competição tende a acontecer, cada vez mais, entre as cadeias de suprimentos, por isso a necessidade de se gerenciar, de forma coordenada e integrada, os principais processos de negócios ao longo da cadeia de suprimentos.

Essas características indicam o grau de agilidade que uma cadeia de suprimentos possui, o reconhecimento do qual pode contribuir para a eliminação das restrições que inibem a flexibilidade da cadeia.

Os **processos-chave** a serem compartilhados, a partir da empresa focal e ao longo da cadeia de suprimentos. Representam uma condição fundamental para a configuração assumida pela cadeia. O conceito utilizado é o de processo de negócio, o qual se define como um conjunto estruturado e mensurável de atividades concebidas para produzir um resultado específico (*output*) para um determinado cliente ou mercado (DAVENPORT, 1993).

Assim, descrevem-se oito processos-chave, indicados pelo *Global Supply Chain Forum*, como referência para a identificação das ligações na cadeia de suprimentos. Conforme o caso estudado, podem existir processos diferentes dos sugeridos, variando-se o número para mais ou para menos. A integração dos processos, também, depende das necessidades da cadeia, havendo casos em que se devem integrar todos os processos; e outros em que só é necessário integrar um ou dois processos. Enfim, não existe um procedimento padrão para integrar processos dentro de uma cadeia (LAMBERT, COOPER E PAGH, 1998; COOPER, LAMBERT e PAGH, 1997). O Quadro 15 resume os oito processos-chave de referência para a identificação das ligações na cadeia.

Esses processos-chave instituídos por Lambert, Cooper e Pagh, (1998) e Cooper, Lambert e Pagh, (1997), foram formulados no âmbito de um estudo mais amplo (*Ohio State University-EUA*), no qual os autores estabeleceram um modelo (*framework*) para gerenciar uma cadeia de suprimentos. O modelo é composto por três etapas: determinação da estrutura da cadeia de suprimentos, determinação dos processos de negócio da cadeia de suprimentos e a determinação dos componentes gerenciais da SCM.

Processos-chave de referência para identificar ligações na cadeia de suprimentos	
Processos-chave	Descrição
Gestão dos relacionamentos com os clientes (<i>Customer relationship management</i>)	Fornecer a estrutura que estabelece como as relações com os clientes serão desenvolvidas e mantidas.
Gestão do serviço ao cliente (<i>Customer service management</i>)	Cria uma interface com o cliente, disponibilizando informações sobre os produtos.
Gestão da demanda (<i>Demand management</i>)	Baliza os requisitos dos clientes com as capacidades da cadeia de suprimentos.
Atendimento dos pedidos (<i>Order fulfillment</i>)	Requer a integração de atividades entre as diversas áreas da empresa, bem como o desenvolvimento de parcerias com os membros-chave da cadeia de suprimentos, buscando atender aos requisitos do cliente e reduzir o custo na entrega.
Gestão do fluxo de manufatura (<i>Manufacturing flow management</i>)	Concentra-se em fabricar produtos e estabelecer a flexibilidade necessária aos requisitos do mercado.
Gestão das relações com os fornecedores (<i>Supplier relationship management</i>)	Determina como a empresa interage com seus fornecedores e se reflete na relação com os clientes.
Desenvolvimento e comercialização do produto <i>Product development and commercialization</i>)	Envolve clientes e fornecedores no desenvolvimento do produto. O objetivo é reduzir o tempo de lançamento do produto, fator importante para manter a competitividade diante de ciclos de vida cada vez mais curtos.
Gestão de retornos (<i>Returns Management</i>)	Preocupa-se com o destino do produto, depois de descartado pelo consumidor final, analisando sua gestão em conjunto com os fornecedores e clientes.

Quadro 15: Processos-chave para identificar ligações na cadeia de suprimentos. **Fonte:** LAMBERT, COOPER E PAGH, (1998); COOPER, LAMBERT e PAGH, (1997).

Existem outras classificações de processos-chave usadas para identificar as ligações na cadeia de suprimentos. Destaca-se a discussão estabelecida pelo *Supply Chain Council* (SCC) sobre os processos na cadeia que levaram ao desenvolvimento do modelo SCOR (*Supply-Chain Operations Reference Model*). Esse modelo descreve cinco processos de negócios básicos, de acordo com Stewart (1997) que são apresentados no Quadro 16.

Analisando-se os Quadros 15 e 16, nota-se que os oito processos estabelecidos no Quadro 15 estão contidos nos cinco processos sugeridos pelo SCOR e apresentados no Quadro 16. Assim, o processo **planejar** corresponde aos processos gestão da demanda e desenvolvimento e comercialização dos produtos. O processo **abastecer**, ao processo gestão das relações com os fornecedores. O processo **produzir** relaciona-se ao processo gestão do fluxo de manufatura. O processo **entregar**, aos processos gestão do relacionamento com os clientes, gestão dos serviços ao cliente e atendimento de pedidos. O processo **retornos** diz respeito ao processo gestão de retornos.

Processos- chave de referência para identificar ligações na cadeia de suprimentos	
Processos- Chave	Descrição
Planejar (Plan)	Abrange toda a cadeia de suprimentos. O planejamento da demanda, o planejamento da infra-estrutura, decisões sobre que competências assumir internamente e, também, o planejamento de outros processos: abastecer, produzir, entregar e retornar.
Abastecer (Source)	Preocupa-se com a aquisição de materiais e da infra-estrutura necessária para suportá-los. Compreende toda a extensão da cadeia à montante da empresa focal.
Produzir (Make)	Refere-se a execução das etapas da produção. Cuida da requisição e do recebimento de material, produção, teste de produtos, embalagem, armazenagem e despacho de produtos.
Entrega (Delivery)	O mais ampliado, compreendendo desde a empresa foco até o consumidor final, envolve: a gestão da demanda, a gestão de pedidos, a gestão de almoxarifados, a gestão dos produtos acabados, a gestão de transporte e a infra-estrutura de entrega.
Retornos (Returns)	Compreende o retorno do produto. Inicia-se pelos retornos do consumidor final em direção a empresa foco e o retorno dos materiais da empresa foco em direção ao ponto de origem das matérias primas.

Quadro 16: Processos-chave de referência para identificar ligações na cadeia de suprimento. **Fonte:** Stewart (1997) – adaptado

A partir do levantamento dos processos-chave que podem ser compartilhados no funcionamento de uma cadeia de suprimentos e das discussões apresentadas sobre eles, discute-se outro aspecto relativo à configuração assumida por ela, a representação de suas relações.

A **representação de uma cadeia de suprimentos** tem o objetivo de demonstrar as interações existentes entre as empresas da cadeia de suprimentos e os processos de negócios envolvidos nessas interações.

Em relação à representação da cadeia de suprimentos, Kotler (2001) destaca que ela é útil para que se tenha uma visão geral da estrutura de relacionamentos, além de permitir uma visualização das interações mais rentáveis e onde a empresa deve concentrar esforços.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) propõem que as empresas mapeiem as cadeias de suprimentos a partir da identificação dos oito processos de negócios executados pela empresa focal e pelos parceiros. O mapeamento deve observar o comportamento das ligações entre a empresa focal e os membros da cadeia. Assim, os autores definem quatro tipos de ligações: ligações gerenciadas, ligações monitoradas, ligações não gerenciadas e ligações com não membros.

- **Ligações gerenciadas:** são interações as quais empresa focal considera importante integrá-las e gerenciá-las. Por isso, as ligações são integradas colaborativamente da empresa focal com os fornecedores e clientes.
- **Ligações monitoradas:** são interações importantes para a empresa focal, mas não fazem parte de processos críticos para esta. Mesmo assim, como os processos estão integrados na cadeia, precisam ser monitorados constantemente.
- **Ligações não gerenciadas:** são interações em que a empresa focal decide não se envolver, já que elas não são consideradas críticas e, por isso, não é necessário investir recursos no seu monitoramento.
- **Ligações com não membros:** são interações que envolvem os membros da cadeia de suprimentos da empresa focal e os não membros dela, mas que devem ser mapeadas e reconhecidas, pois podem afetar o desempenho da empresa focal e sua cadeia de suprimentos, como relata Fine (1999), referindo-se ao caso *Chrysler*. Ele cita que a empresa decidiu mapear a cadeia de suprimentos desta, a partir de um tipo específico de automóvel; e na seqüência dos mapeamentos, descobriu que uma ligação com um não membro poderia afetar direta e negativamente uma das linhas de produtos mais rentáveis da *Chrysler*.

A proporção de ligações que devem ser gerenciadas não é estabelecida pelos autores consultados. Eles indicam que essa proporção depende de vários fatores, como: complexidade do produto fabricado, tamanho da cadeia de suprimentos e número de níveis à jusante e à montante da empresa focal.

Nesta seção, destacaram-se alguns dos principais fatores que influenciam o tipo de configuração assumida por uma cadeia de suprimentos. O Quadro 17 sumariza os principais fatores.

Observando-se o Quadro 17, percebe-se que muitos fatores podem influenciar o formato de uma cadeia de suprimentos. As competências executadas internamente e as funções delegadas a parceiros, a flexibilidade que a empresa foco com a cadeia de suprimentos em relação à adaptação às mudanças do mercado, o grau de complexidade dos produtos fabricados, os processos de negócios compartilhados e as interações existentes na cadeia contribuem para que ela se comporte de modo dinâmico ou estático.

Fatores que influenciam a configuração de uma cadeia de suprimentos	
Fatores	Tipos
Competências essenciais assumidas	- Distintivas - Qualificadoras - Básicas
Flexibilidade da cadeia	Produção ágil e Produção enxuta
Produtos fabricados	- Funcionais - Inovadores
Processos-chave compartilhados	Processos de referência: - Planejar - Abastecer - Produzir - Entregar - Retornar
Mapeamento da cadeia	- Ligações gerenciadas - Ligações monitoradas, - Ligações não gerenciadas - Ligações com não membros

Quadro 17: Fatores que influenciam a configuração de uma cadeia de suprimentos

Na seqüência, apresentam-se alguns tipos de relacionamentos, mais comuns, no processo de integração de uma cadeia de suprimentos.

4.3.3 TIPOS DE RELACIONAMENTOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

No início do século XX, com a intensificação do processo de industrialização, as indústrias de fabricação tinham dificuldade par encontrar fornecedores qualificados que atendessem às demandas da época. Por isso, as grandes indústrias de fabricação, como a Ford, tiveram de assumir a função de fornecimento. Para isso precisaram **verticalizar** a cadeia de suprimentos. Dessa forma, os relacionamentos se restringiam, basicamente, a distribuidores e varejistas, concentrando-se no sentido à jusante da empresa focal.

A esse respeito, Bowersox e Closs (2001) destacam que as formas de relacionamento, no canal de distribuição, são determinadas em função do nível de comprometimento assumido nesse relacionamento. Para explicá-los, mostra as relações configuradas por transações únicas, nas quais é efetuado um **único negócio**, usualmente, representado por transações envolvendo grandes quantias financeiras (compra e venda de ações, imóveis, etc). Os **acordos abertos**, nos quais as empresas compram e vendem produtos de acordo com a necessidade, com autonomia para interromper o relacionamento quando desejar e não se preocupando em regularizar as transações comerciais nem efetivar acordos formais (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

Kanter (1994) discute a importância dos **acordos colaborativos** entre as cadeias das empresas que, ao longo do tempo, evoluíram de relacionamentos fracos e distantes para fortes e próximos. Isso ocorreu, por um lado, devido ao reconhecimento da dependência mútua, por outro pelo reconhecimento de que a competição acontece no próprio canal de distribuição. Os acordos colaborativos são de longo prazo e, se os relacionamentos são firmados para atender a objetivos comuns às empresas envolvidas, estipulando-se regras a serem seguidas, tendem a ser mais formais e dependentes (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

Vandermerwe (2004) evidencia a importância do conhecimento das necessidades do cliente final na formação de relacionamentos empresariais. O foco, no cliente final, ganha uma dimensão superior na gestão da cadeia de suprimentos, pois as informações sobre os clientes estão em poder de quem se relaciona diretamente com eles. Nessa situação, os varejistas podem usar o domínio das informações para barganhar vantagens na cadeia da qual faz parte, em troca de transpor as informações à montante dela (THOMKE; HIPPEL, 2002). Nesse sentido, Lambert (2001) argumenta que quem tem relação com o cliente final domina a cadeia de suprimentos, fato que induz os membros da cadeia a buscarem o gerenciamento da própria cadeia de suprimentos até o ponto final de consumo.

O interesse em captar as informações do cliente final e a forma de gerenciamento da cadeia de suprimentos contribuíram para o surgimento de outros tipos de relacionamentos, como os *keireitsu*, os *clusters*, as **organizações em redes**, as **organizações virtuais** e os acordos mais específicos, tais quais *outsourcing*, **alianças**, *joint venture*, entre outros que serão discutidos na seqüência.

Com a evolução nas formas de gestão da produção (ver seção 4.1) e o conseqüente aumento no número de fornecedores capacitados a atender aos requisitos dos fabricantes, os relacionamentos entre fabricantes e fornecedores-chave passaram a trazer grandes avanços ao processo de fabricação. O que antes era produzido internamente, passa a ser fabricado com eficiência por um parceiro, enquanto a empresa fabricante pode se concentrar nas suas *core competences*.

Dessa evolução, surgem os **Keiretsu**, prática japonesa na qual a empresa fornecedora faz parte de um mesmo conglomerado empresarial, usualmente dirigido por uma grande instituição financeira (LAMMING, 2000). Os relacionamentos organizados, no contexto do *Keiretsu* denominam-se empresas mães; as empresas clientes e as empresas filhas e netas são fornecedoras de componentes para as empresas mães. A coordenação da cadeia de suprimentos é exercida pela empresa cliente, e as empresas fornecedoras não devem fabricar produtos finais, todas as empresas envolvidas compartilham a gestão de mão-de-obra, de

materiais e de capital. Chraim (2000) lembra que o *Keiretsu* é o melhor exemplo de comprometimento, com compartilhamento de ganhos e perdas.

Os *clusters* ou aglomerados são concentrações geográficas de empresas inter-relacionadas e instituições correlatas pertencentes a determinado setor de atividade (PORTER, 1999). Os clusters são mais direcionados aos canais de distribuição e clientes e, marginalmente, aos fabricantes de produtos complementares e empresas de setores afins (PORTER, 1999).

A **organização em rede** é marcada, principalmente, pelo formato dinâmico e não-linear, no qual uma empresa participa de uma rede de trabalho com múltiplos negócios e relacionamentos. Toda empresa participa de uma rede em busca de informações específicas. Uma cadeia de suprimentos, ou outro tipo de arranjo de empresas, também, participa de redes de empresas que interagem e se influenciam mutuamente (BARABÁSI e BONABEAU, 2003). Prahalad e Ramaswamy (2004) discutem a formação de **redes de experiências**, que consistem em interações não-lineares e não-sequenciais entre empresas, instituições e comunidades de clientes. A rede cria um ambiente de experiência com o qual cada consumidor tem uma interação específica.

A **organização virtual** é formada por um grupo de entidades que cooperam temporariamente no desenvolvimento de um projeto comum. Cada entidade atua desempenhando competências as quais complementam outras entidades da rede virtual. Sua atuação e comunicação independe da proximidade geográfica e depende do sistema de compartilhamento de informações utilizado (PIRES, 2004).

Pires (2004), reportando-se a Pires *et al.* (2001), estabelece sete características principais para as empresas organizadas virtualmente. O Quadro 18 sumariza tais características.

Características de uma Organização Virtual	
Característica	Descrição
Foco nas competências centrais	Cada empresa parceira participa com sua competência, complementando as outras participantes do grupo.
Dirigida pela oportunidade	Exerce cooperação temporária vinculada à oportunidade de negócio. As empresas participantes agem juntas para atender a uma oportunidade específica, dissolvendo a parceria depois de concluído o negócio comum.
Estrutura dinâmica	Possui regras adaptáveis que a tornam flexíveis às mudanças no mercado.
Relacionamento semi-estável	As empresas parceiras são dependentes entre si, mas também podem sobreviver no mercado sem participar de organizações virtuais.
Confiança	O compartilhamento da informação é fundamental nesse tipo de organização, por isso relações de confiança são essenciais.
Infra-estrutura tecnológica	Possibilita que empresas geograficamente distantes possam unir competências.

Quadro 18: Características de uma Organização Virtual. **Fonte:** Pires (2004) apud Pires *et al.* (2001) – adaptado.

As cadeias de suprimentos, também, podem participar de organizações virtuais. Isso pode acontecer quando elas interagem com um parceiro geograficamente distante, em determinado projeto, com o objetivo de se manterem competitivas. Todos os relacionamentos discutidos podem ocorrer tanto em arranjos organizados horizontalmente (cadeias de suprimentos, por exemplo), como em relacionamentos verticais entre concorrentes.

Além desses relacionamentos, outros mais específicos acontecem na trajetória de atuação de uma cadeia de suprimentos. São relacionamentos mais intensos, que podem ser denominados acordos entre empresas com objetivos comuns. Apesar de a bibliografia apresentar controvérsias, assume-se que os acordos feitos pelas empresas são tipos de parcerias (CHRAIM, 2000; GASPARETTO, 2003). Lambert, Emmelhainz e Gardner (1996) definem uma parceria como um relacionamento de negócio personalizado, com base na confiança mútua, no relacionamento aberto, no compartilhamento de riscos e de ganhos que proporcionem desempenhos e vantagens competitivas maiores do que poderiam ser obtidos pelas empresas individualmente. Pires (2004), a partir de uma pesquisa realizada por Cooper e Gardner (1993), aponta cinco pontos importantes para o estabelecimento e a consolidação das parcerias.

- **Assimetria:** capacidade que a empresa possui de exercer poder, influência e controle sobre outra;
- **Reciprocidade:** estabelece uma relação de cooperação, colaboração e coordenação entre as partes;
- **Eficiência:** quando surge a necessidade de melhorar um processo numa empresa, utilizando-se os recursos de uma parceria como solução.
- **Estabilidade:** busca de parcerias que proporcionem um futuro mais confiável e menos incerto;
- **Legitimidade:** justificativa confiável das atividades e resultados alcançados.

Pires (2004) considera que uma parceria é um tipo específico de relacionamento, semelhante a alianças e *joint ventures*, por exemplo. Na seqüência, apresentam-se, resumidamente, os acordos mais usuais firmados no contexto dos arranjos empresariais.

Joint Ventures são empreendimentos conjuntos formados por duas ou mais empresas. Pires (2004) argumenta que as *joint ventures* envolvem o investimento e a posse de ativos comuns às duas empresas, usualmente caracterizando a criação de uma terceira empresa. Bowersox e Closs (2001) lembram que uma *joint venture* cobre duas ou mais empresas que

firmam um acordo para criar uma nova unidade econômica de negócio. As *joint ventures* não estão relacionadas aos objetivos estratégicos da empresa e são usualmente acordos bilaterais (DOZ e HOMEL, 2000). Gulati e Garino (2000) destacam o caso de uma *joint venture* entre uma empresa com estrutura física concreta e uma empresa com estrutura virtual. Cita, como exemplo, um caso no setor varejista de brinquedos, a *KB Toys* (loja convencional de brinquedos), que juntou forças com a *BrainPlay.com*. Esta já tinha experiência em venda de brinquedos pela Internet; juntas criaram a *KBkids.com*. A *KB Toys* entrou com US\$ 80 milhões e a marca forte que possuía, ficando com 80% da participação na *joint venture*.

Outsourcing é uma opção por uma relação de parceria e cumplicidade com um ou mais fornecedores da cadeia de suprimentos (PIRES, 1998). A lógica básica do *outsourcing* é transferir atividades e processos realizados internamente para fornecedores externos, fato que possibilita a concentração da empresa em seus negócios centrais, no *core competences* e nas atividades e processos que proporcionam maior retorno e lucratividade (PIRES, 2004). Para Zook (2003) os negócios centrais são formados pelo conjunto de produtos, segmentos de clientes e tecnologias com as quais uma empresa pode gerar a maior vantagem competitiva possível. Assim, reúne os clientes mais leais e rentáveis, gerando o crescimento da empresa. Hammer (2001) lembra que as *core competences* não são questões fixas. Por isso, é necessário observar atentamente as mudanças na empresa, através da empresa em sua cadeia de suprimentos e no mercado, para perceber o que deve mudar nas *core competences* da empresa e de sua cadeia.

As **Alianças** são formadas por empresas independentes com participação mútua no negócio, usualmente de forma complementar e, não necessariamente, envolvendo novos investimentos (PIRES, 2004). Bowersox e Closs (2001) destacam que as alianças são acordos apoiados, apenas, nas relações de confiança existentes entre os parceiros. Não existem contratos formais que assegurem direitos e deveres aos parceiros, já que a própria lógica de formação das alianças é a espontaneidade. As alianças são formadas para auxiliar os objetivos estratégicos da empresa, e envolvem a participação de múltiplos parceiros, são relações dinâmicas que podem mudar os parceiros com frequência (DOZ e HOMEL, 2000).

Na seqüência, o Quadro 19 resume os principais tipos de relacionamentos estabelecidos em um arranjo empresarial.

Principais tipos de relacionamentos num arranjo empresarial	
Relacionamentos	Descrição
Único negócio	Transações únicas, sem repetição. Sem vínculos contratuais.
Acordos abertos	As empresas compram e vendem produtos de acordo com a necessidade. Podem interromper o relacionamento quando desejar, não são relações regulares.
<i>Keiretsu</i>	É um acordo colaborativo. As empresas mães são as empresas clientes; as empresas filhas e netas são as empresas fornecedoras. A coordenação da cadeia é exercida pela empresa cliente; as empresas fornecedoras não devem fabricar produtos finais, todas as empresas envolvidas compartilham recursos.
Cluster	São concentrações geográficas de empresas inter-relacionadas e instituições afins pertencentes a determinado setor de atividade.
Organização em rede	Possui formato dinâmico e não-linear. A empresa participa de uma rede de trabalho com múltiplos negócios e relacionamentos.
Organização virtual	Formada por um grupo de entidades que cooperam temporariamente no desenvolvimento de um projeto comum.
<i>Joint Venture</i>	Formados por duas ou mais empresas. Envolvem investimentos e posse de ativos comuns às duas empresas, usualmente cria uma terceira empresa.
<i>Outsourcing</i>	Relação de parceria e cumplicidade com um ou mais fornecedores do arranjo empresarial. Transfere atividades e processos realizados internamente para fornecedores externos. A empresa foco se concentra em seus negócios centrais.
Alianças	Formadas por empresas independentes com participação mútua no negócio. São formadas por relacionamentos espontâneos.

Quadro 19: Resumo dos principais tipos de relacionamentos num arranjo empresarial.

Outro aspecto importante para a gestão de um arranjo empresarial, como a cadeia de suprimentos, é o avanço acontecido no desenvolvimento de tecnologias da informação que facilita a integração entre os parceiros de um arranjo empresarial. Na seqüência, discutem-se alguns instrumentos tecnológicos que podem ser úteis no processo de integração dos parceiros na cadeia de suprimentos.

4.3.4 INSTRUMENTOS QUE PODEM AUXILIAR À INTEGRAÇÃO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A evolução no desenvolvimento de tecnologias de informação, o aumento do uso de ferramentas computacionais pelas empresas e o crescimento dos relacionamentos colaborativos entre elas são características que apresentam influências mútuas no surgimento e no desenvolvimento de novos instrumentos de integração. O uso das tecnologias da informação, na gestão da cadeia de suprimentos, busca otimizar a integração dos membros da cadeia, por meio da melhoria no tempo de resposta, redução de custos e disponibilidade de informações no menor tempo possível aos membros da cadeia.

Na seqüência, apresentam-se alguns instrumentos que podem auxiliar o processo de integração em uma cadeia de suprimentos.

4.3.4.1 Electronic Data Interchange (EDI) ou Transferência Eletrônica de Dados

O propósito do EDI é executar, de forma estruturada, a troca eletrônica de dados entre computadores de empresas parceiras em determinados negócios (PIRES, 2004). Os dados trocados costumam ser documentos com uma estrutura padrão fixa reconhecida internacionalmente, a saber: programas de produção e entregas, pedidos de produtos, avisos de recebimento, necessidades de reposição de estoques, lista de faturas a pagar, etc. (PIRES, 2004, p.164).

O EDI é um instrumento importante para a integração de uma cadeia de suprimentos; ele favorece os processos de colaboração entre parceiros, geralmente iniciados pelo processamento das transações, pedidos eletrônicos, faturamento e pagamentos. Em estágios mais avançados, pode auxiliar à empresa cliente no acompanhamento da programação e posição de estoques, além de permitir que o cliente acompanhe as informações do fornecedor. O instrumento, ainda, pode ser usado como veículo de comunicação entre os membros da cadeia de suprimentos (VOLLMANN; CORDON, 1998).

A implantação do EDI numa empresa tem um custo relativamente alto, porque requer uma estrutura de rede e o uso *softwares* de comunicação de dados. Esse processo é intermediado por protocolos de comunicação para tradução dos dados e distribuição para todos os membros da cadeia. Por isso, geralmente, os pequenos fornecedores não têm acesso a esse tipo de tecnologia e podem ser prejudicados na seleção dos parceiros pela empresa focal (PIRES, 2004). Para o autor, o EDI desempenha um papel importante para a evolução da SCM, na medida em que atua como um grande facilitador tecnológico com o objetivo de desburocratizar, agilizar e reduzir custos na cadeia de suprimentos.

Gasparetto (2003) destaca que a utilização do EDI possibilitou que outros conceitos fossem desenvolvidos. A autora aponta uma pesquisa realizada na década de 1980, nos Estados Unidos, que evidenciou o ciclo longo de tempo na transferência de informações nas cadeias de suprimentos. Isso acontecia, principalmente, em decorrência dos processos de movimentação e estocagem. A partir dessas constatações, surgiu o *QR (Quick Response)*, que serviu de base para o desenvolvimento do *ERC (Efficient Consumer Response)*.

4.3.4.2 Efficient Consumer Response (ECR) ou Resposta Rápida ao Consumidor

Fisher (1997) lembra que, apesar do estágio atual da tecnologia da informação, muitas cadeias de suprimentos ainda apresentam resultados aquém do esperado em termos de

desempenho. Por isso, a busca do instrumento - Resposta Rápida - é que a demanda seja captada o mais próximo possível da realidade do consumidor final (CHRISTOPHER, 1997). Nesse sentido, O ECR, somado ao EDI, funciona como um instrumento importante a serviço da gestão da demanda ao longo da cadeia de suprimentos. Assim, a proposta do ECR é atender com eficiência às demandas dos clientes através de um sistema de reposição automático dos estoques consumidos nos pontos de venda (PIRES, 2004).

Barratt e Oliveira (2001) argumentam que a relação entre fabricantes e varejistas e entre fornecedores e clientes deve ser de confiança, com o compartilhamento de informações estratégicas para a otimização dos resultados em toda a cadeia de suprimentos.

Para Bowersox e Closs (2001), o ECR nasceu de uma iniciativa da indústria alimentícia, que buscou estabilizar o fluxo de produtos e atingir o duplo objetivo de aumentar a rotatividade dos estoques e reduzir o desperdício.

Pires (2004) relata que, embora, nos últimos anos, o ECR tenha se expandido para setores industriais, a maioria dos relatos sobre sua implantação está no campo do varejo, como o caso de sucesso construído nos Estados Unidos pela Wal Mart e Procter & Gamble. A partir das informações recebidas diretamente das caixas registradoras do Wal Mart, a Procter & Gamble pôde programar todo o processo de atendimento (produção e entrega) de forma mais dinâmica e precisa. No Brasil, o ECR foi implementado com sucesso em alguns grupos varejistas: Wal Mart, Pão de Açúcar, Ponto Frio, Carrefour, etc. (GASPARETO *apud* ECR BRASIL, 2003).

Para o ECR funcionar bem, Barratt e Oliveira (2001) destacam quatro estratégias a serem seguidas: (1) promoções planejadas entre fornecedores e varejo; (2) reposições de estoque, otimizando os sistemas de reposição via identificação da demanda real dos clientes; (3) sortimento equilibrado de estoque; (4) introdução de novos produtos. Pires (2004) acrescenta a estratégia utilizada pelos varejistas de administrar os produtos na loja por categoria (doces, massas, sucos), buscando otimizar o sortimento e as promoções.

4.3.4.3 Vendor Managed Inventory (VMI) ou Estoque gerenciado pelo Fornecedor

O VMI é um instrumento usado para pôr em execução as estratégias do ECR. Ele é definido como uma prática na qual o fornecedor possui a responsabilidade de gerenciar o seu estoque junto ao cliente, responsabilizando-se pelo processo de reposição (VOLLMANN; GORDON, 1998; PIRES, 2004). Como os outros instrumentos apresentados, para implementar o VMI com sucesso, é necessário que existam relações de confiança mútua entre

os parceiros da cadeia de suprimentos (VOLLMANN; GORDON, 1998). Nessa perspectiva, Corrêa (2002) sugere quatro etapas: (1) conhecer a demanda do cliente final, no ponto de venda, que será a base do processo de gestão; (2) receber as informações com a agilidade necessária ao repasse ao longo da cadeia; (3) construir opções de modelos gerenciais de gestão de estoques, previsões de vendas e processos logísticos, para que possam utilizar modelos adequados para gerenciar diferentes situações, clientes, produtos, demandas, etc.; (4) criar uma inteligência gerencial que direcione e atualize os diversos modelos gerenciais às situações emergentes.

Pires (2004) destaca que, apesar das dificuldades inerentes ao sistema, o VMI tem sido gradualmente implementado por importantes empresas no Brasil, especialmente varejistas, como: Wal Mart, Pão de Açúcar, Angeloni etc.

O ECR e o VMI auxiliam à gestão de uma cadeia de suprimentos, a partir do uso das informações passadas para o reabastecimento dos produtos na empresa do cliente. A evolução dos instrumentos de integração levou ao desenvolvimento do *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR)*, que não se norteia, apenas, por informações passadas, mas também por demandas futuras.

4.3.4.4 Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR) ou Planejamento Colaborativo na Previsão de Vendas e Reabastecimento

Pires (2004) estabelece que, geralmente, o CPFR é formado por um mapa que contém quatro subprocessos, vinte e seis funções e um total de 51 *outputs*, requerendo dos parceiros de negócios o desenvolvimento de uma visão colaborativa e sincronizada que viabilize a tecnologia e os recursos necessários para sua implementação e execução.

Para a implementação do CPFR, é necessário que haja redução de estoques, aumento das eficiências, aumento das vendas, redução dos ativos e redução do capital de giro. O CPFR tem o objetivo de facilitar a colaboração entre as empresas, em especial a previsão de vendas. O sucesso dependerá de questões básicas, como a existência de processos internos bem estruturados e operacionalizados e uma sólida relação entre as empresas parceiras de colaboração (BARRATT e OLIVEIRA, 2001; PIRES, 2004).

Pires (2004) destaca que, para muitos autores, o grande mérito do CPFR é o fato de que ele coloca, pela primeira vez, o planejamento da demanda e de fornecimento sob uma coordenação única, o que constitui um grande avanço e vantagem para a integração.

Gasparetto (2003), a partir do Boletim ECR Brasil (ago. 2001), estabelece nove etapas para a implantação do CPFR:

- Elaboração de acordo entre indústria e varejo;
- Definição de um plano de negócio conjunto;
- Desenvolvimento de previsões de vendas individuais, por empresa;
- Identificação das exceções por meio da comparação entre as previsões do fabricante e do varejista;
- Análise das exceções;
- Elaboração de uma previsão de ordens de ressurgimento;
- Busca por exceções para a previsão de ordens;
- Exceções identificadas são analisadas conjuntamente;
- Transformação das ordens em pedidos.

Sobre a implementação do CPFR, Barratt e Oliveira (2001) relatam os casos da Hewlett-Packard, Wal Mart, General Motors (GM) e alguns distribuidores: Ford e distribuidores, Mitsubishi e alguns distribuidores, Timberland e alguns varejistas, Lucent e Wal Mart, Heineken e alguns distribuidores, Procter & Gamble e Wal Mart. Os autores lembram que, por questões de sigilo, o número de experimentos e implementações na área deve ser muito maior do que o disponibilizado na literatura.

Nas últimas cinco seções, apresentaram-se alguns instrumentos que podem ser empregados para auxiliar a integração de uma cadeia de suprimentos. O Quadro 20 sumariza esses instrumentos.

Instrumentos de apoio à integração de uma cadeia de suprimentos	
Instrumento	Descrição
<i>Electronic Data Interchange (EDI) ou Transferência Eletrônica de Dados</i>	Executa estruturadamente a troca eletrônica de dados entre computadores de empresas parceiras em determinados negócios.
<i>Efficient Consumer Response (ECR) ou Resposta Rápida ao Consumidor</i>	Atende com eficiência às demandas dos clientes através de um sistema de reposição automático dos estoques consumidos nos pontos de venda.
<i>Vendor Managed Inventory (VMI) ou Estoque gerenciado pelo Fornecedor</i>	Implementa as estratégias do ECR, além delegar ao fornecedor a responsabilidade de gerenciar o seu estoque junto ao cliente, responsabilizando-se pelo processo de reposição.
<i>Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR) ou Planejamento Colaborativo na Previsão de Vendas e Reabastecimento</i>	Planeja a demanda e o fornecimento sob uma coordenação única, constituindo um avanço e uma vantagem para a integração das cadeias de suprimentos.

Quadro 20: Instrumentos de apoio à integração de uma cadeia de suprimentos

A partir das discussões apresentadas sobre os arranjos empresariais, destacando-se as principais configurações, relacionamentos e integração, interligam-se essas questões à abordagem da Ciência da Complexidade, evidenciando-se as contribuições que a abordagem pode trazer à formação e à gestão de uma cadeia de suprimentos.

4.4 COMO A CIÊNCIA DA COMPLEXIDADE PODE CONTRIBUIR PARA A GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Como discutido desde o início deste Capítulo, o objetivo da elaboração dele é mostrar a mudança pela qual vem passando a sociedade e as empresas, de uma abordagem reducionista para uma abordagem sistêmica. Na abordagem reducionista, dissocia-se o sujeito do seu objeto. Extrapolando essa visão para as empresas, dissocia-se a empresa dos seus parceiros e do seu contexto. Na abordagem sistêmica, propõe-se o inverso, a integração de sujeito e objeto e, por analogia, a integração da empresa com os seus parceiros e com seu ambiente.

Nessa situação, o desenvolvimento deste Capítulo, associando a formação dos arranjos empresariais às Ciências da Complexidade, vem da percepção de que, apesar dos arranjos empresariais usarem a mesma lógica de funcionamento dos sistemas complexos, eles não utilizam a abordagem das Ciências da Complexidade em benefício próprio. Na bibliografia pesquisada, encontraram-se poucos trabalhos relacionando a formação e a gestão de arranjos empresariais à estrutura de referência das Ciências da Complexidade. Destacam-se Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), que tratam das redes de suprimentos e dos sistemas complexos adaptativos; Macbeth (2002), que aborda as estratégias emergentes no gerenciamento de cadeias de suprimentos, e Agostinho e Castro (2002), que discutem sobre redes produtivas e sistemas complexos adaptativos. Acrescente-se o artigo: *Behavior change for supply chain*, disponível no *site informationweek.com*, 2001.

Os sistemas complexos podem ser constituídos de *quarks* de células até países inteiros (ver Capítulo 2), por isso o objetivo central deste trabalho de pesquisa consiste em desenvolver uma modelagem de referência para representar sistemas complexos sociais, como as organizações empresariais. Isso porque o campo de conhecimento, no qual este trabalho está sendo desenvolvido, é a Engenharia de Produção, cujo objeto de análise é a empresa. Disso decorre a preocupação em mostrar que as configurações empresariais estão assumindo formatos mais horizontalizados, mudando de uma visão isolada da gestão para

uma visão compartilhada, colaborativa e integrada, fato que demonstra a adequação do uso da abordagem das Ciências da Complexidade à gestão dos arranjos empresariais, como as cadeias de suprimentos.

Assim, na seqüência, abordam-se as similaridades existentes entre o comportamento dos sistemas complexos e o comportamento das cadeias de suprimentos.

4.4.1 SIMILARIDADES ENTRE SISTEMAS COMPLEXOS E CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Como apresentado e discutido no Capítulo 2, a complexidade é um conceito que se aplica a diversas áreas do conhecimento, assumindo abrangências variadas. Existem muitas definições para expressar a palavra “complexidade”, não havendo um conceito padrão que possa ser empregado em todos os casos. Em outras palavras, a complexidade é um termo multidisciplinar, representando uma percepção do sujeito sobre o mundo, daí a dificuldade de conceituação.

Em essência, um fenômeno complexo é formado por dois ou mais elementos diferentes que interagem e possui comportamento imprevisível, por isso sua evolução é difícil de ser mensurada e gerenciada (HEYLIGHEIN, 1988). A maioria dos fenômenos da natureza apresenta essas características, perfazendo fenômenos complexos. Nesse sentido, pode-se transpor a visão da complexidade para os fenômenos artificiais, aqueles que são desenvolvidos e mantidos pelo homem.

Le Moigne (1977) apresenta o termo “sistema” como um instrumento utilizado para visualizar e transpor as características dos fenômenos complexos naturais para os fenômenos artificiais. O conceito de sistema funciona como uma “lente”, através da qual o observador visualiza os fenômenos como um sistema complexo, ou imprime ao objeto observado as características dele.

Sistema também é um termo que possui várias conotações (ver Capítulo 2, seção 2.2), de acordo com a área do conhecimento em que é empregado e a abrangência assumida. Esse termo foi usado antes da concepção sistêmica ser desenvolvida. Ele era utilizado na concepção matemática de conjunto de partes. Deve-se a Morin (1977) a compreensão de que para algo ser considerado sistema precisava ser organizado. Assim, um sistema é uma unidade

global organizada, formado por inter-relações entre elementos, ações e indivíduos (MORIN, 1977, p.175). Esta é a concepção de sistema assumida na elaboração desse trabalho.

A lógica de funcionamento dos sistemas complexos é associar elementos diferentes, que pela interação, se organizam e evoluem para níveis mais ou menos complexos. Os sistemas complexos assumem uma modelagem sistêmica, onde partes e todo interagem constantemente e são a base da evolução. Trata-se de uma visão contrária à modelagem reducionista (Capítulo 3).

A formação de uma cadeia de suprimentos parte do princípio de que, para existir são necessárias duas ou mais empresas. Elas precisam interagir de forma organizada, com objetivos sintonizados e com a intenção de colaborar para que todas as empresas envolvidas ganhem e a cadeia como um todo se mantenha forte e evolua para níveis mais aprimorados de organização e complexidade. Para gerenciar uma cadeia de suprimentos, os termos básicos usados pelos autores consultados são: integração, compartilhamento, mapeamento, cooperação, colaboração, relações ganha-ganha, relacionamento, ligações, conexões, interações e acordos, iniciativas que evidenciam a mudança da visão reducionista da gestão para uma visão sistêmica, mesmo que de forma não declarada explicitamente, além de demonstrar a compatibilidade com os preceitos de funcionamento das Ciências da Complexidade.

Dessa forma, pode-se notar que a filosofia de formação de uma cadeia de suprimentos envolve os conceitos de complexidade, sistema e sistema complexo, podendo ser considerada como um sistema complexo. A partir dessa extrapolação, podem-se atribuir as características de um sistema complexo a uma cadeia de suprimentos. O Quadro 21 mostra as principais características de um sistema complexo.

A cadeia de suprimentos é um sistema complexo produzido pelo homem e, portanto, artificial, inspirado no comportamento dos sistemas naturais. Não é um sistema complicado, porque suas partes não podem ser separadas sem que todo ele seja destruído. O comportamento da cadeia de suprimentos não exibe um padrão periódico regular e ela possui todas as características de um sistema complexo, como pode ser visto no Quadro 21.

SISTEMA COMPLEXO versus CADEIA DE SUPRIMENTOS		
Características	Sistema Complexo	Cadeia de Suprimentos
Possui estrutura que engloba várias escalas	x	x
É dinâmico e muda com o tempo	x	x
É composto de duas ou mais partes	x	x
As relações entre as partes são não-lineares	x	x
As partes são diferentes	x	x
As partes interagem	x	x
Da interação emerge um todo organizado	x	x
Partes e todo funcionam juntas, não existe um sem o outro	x	x
As partes possuem objetivos comuns	x	x
As partes são difíceis de dissociar	x	x
Cada parte coopera para que todos ganhem mais	x	x
As relações são predominantemente de colaboração	x	x
Da interação pode surgir um comportamento imprevisto	x	x
Pode evoluir para níveis de complexidade maior ou menor	x	x
Se modelado usando a abordagem reducionista, perde-se a emergência das interações	x	x
São sistemas abertos, trocam energia e recursos com o ambiente	x	x
Deve ser modelado pela visão sistêmica	x	x
Opera entre a ordem e caos (misto de controle e incerteza)	x	x
Se adapta ao ambiente externo	x	x
É sensível às condições iniciais	x	x
O todo é diferente da soma das partes	x	x

Quadro 21: Características comuns ao sistema complexo e a cadeia de suprimentos

Neste trabalho, a cadeia de suprimentos é considerada um sistema complexo, podendo lhe ser atribuída as propriedades dos sistemas complexos, assunto discutido na próxima seção.

4.4.2 PROPRIEDADES DOS SISTEMAS COMPLEXOS ATRIBUÍDOS ÀS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Nesta seção, apresentam-se as principais propriedades inerentes aos sistemas complexos e os benefícios que elas podem gerar quando atribuídas à formação e à gestão das cadeias de suprimentos.

4.4.2.1 Adaptação

A adaptação é uma propriedade dos sistemas complexos que os torna capazes de se ajustar internamente para suportar as perturbações externas. Casti (1994) destaca que os sistemas complexos são formados de agentes inteligentes os quais tomam decisões e agem em função de informações parciais de todo o sistema, ao mesmo tempo em que possuem

capacidade de mudar as regras seguidas de acordo com as informações adquiridas no momento da decisão. A adaptação dá ao sistema complexo a capacidade de aprender e evoluir como os sistemas vivos o fazem (GELL-MANN, 1996).

Os arranjos empresariais, como as cadeias de suprimentos, necessitam estar constantemente se adaptando às perturbações vindas do mercado, do governo, do meio ambiente e das outras empresas com as quais interagem. Cada empresa que compõe a cadeia, também, precisa estar em constante observação das mudanças ocorridas nos relacionamentos à montante e à jusante dela para se manter com eficiência na cadeia. A consciência de que a cadeia de suprimentos precisa conhecer, identificar e acessar as informações de todos os membros envolvidos no negócio pode modificar positivamente a tomada de decisão e gerar aprendizado para outras situações, diferenciando-as de outras empresas.

4.4.2.2 Estrutura em várias escalas

Os sistemas complexos assumem diversas estruturas em escalas diferentes de complexidade. Em outras palavras, um mesmo sistema possui estruturas variadas e complementares para poder exibir o seu comportamento. Baranger (199-?) destaca que o corpo humano apresenta quatro escalas de estrutura para suportar o comportamento. A primeira se constitui de cabeça, tronco e membros. A segunda é composta pelos ossos, músculos, vísceras e nervos. A terceira, pelas células e subdivisões. A quarta se compõe dos cromossomos contidos no DNA. Simon (1969) estabelece que os sistemas complexos são formados por estruturas quase decomponíveis complementares e recursivas.

Da mesma forma, a cadeia de suprimentos é formada por membros com estruturas variadas e complementares, por exemplo uma empresa de alta tecnologia que precise de um fornecedor com produção artesanal. Apresenta uma estrutura composta de vários níveis ou camadas, que vai da origem da matéria prima até o descarte do produto pelo consumidor final. A identificação de todos os níveis da cadeia de suprimentos e o delineamento da atuação direta da empresa focal, como propõem Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Slack (1993), são fatores importantes na gestão de uma cadeia de suprimentos. Outro fator fundamental é a identificação da estrutura de cada empresa dentro da cadeia e como cada uma complementa e contribui para a evolução da cadeia como um todo.

4.4.2.3 Emergência

A emergência é uma propriedade dos sistemas complexos que não pode ser compreendida pela análise isolada das partes físicas do sistema. Para percebê-la, faz-se necessário observar o comportamento das partes no contexto global do sistema (BAR-YAM, 1997). Pode-se descrever a emergência em dois contextos: local e global. Na emergência local, o comportamento coletivo pode ser percebido em pequenas partes do sistema. Na global, o comportamento coletivo pertence ao sistema como um todo. Essa descrição segue a lógica das estruturas fractais de Mandelbrot, em que a menor parte de um sistema complexo contém o todo e o todo contém todas as partes, como as células de uma pessoa, que contém todas as informações de seu corpo e vice-versa (MANDELROT, 1984).

O termo é pouco utilizado no campo de conhecimento da gestão dos arranjos empresariais. Contudo, é muito importante se apropriado eficientemente por qualquer área do conhecimento. A emergência pode ser aplicada à cadeia de suprimentos, quando se faz a análise de cada membro da cadeia individualmente ou quando se observam os resultados da dinâmica das interações do conjunto das empresas no contexto da cadeia. Nessa análise, são observados se os objetivos da cadeia como um todo estão sendo seguidos, individualmente, pela empresa e se a cadeia como um todo se preocupa com a situação de suas parceiras comerciais. Esse procedimento favorece o conhecimento profundo das relações entre as empresas, podendo gerar vantagens competitivas pelo estabelecimento de um relacionamento mais integrado e confiável entre as empresas.

4.2.2.4 Variedade – Variabilidade

Os sistemas complexos podem produzir vários tipos de resultados e várias quantidades do mesmo resultado (GINO, 2002). Isso ocorre devido à emergência espontânea de formas, idéias e conexões imprevisíveis de um sistema complexo. Esse fato dificulta a representação do sistema, dado o número de configurações passíveis de acontecer. Por isso, também, seu comportamento pode ser incerto.

Apesar do planejamento realizado, os resultados podem variar diferentemente do esperado, por causa dos efeitos gerados pelas interações entre os membros da cadeia. O conhecimento dessa possibilidade é útil para acompanhar e avaliar se os objetivos estipulados pela cadeia estão sendo cumpridos, ou se estão surgindo novos objetivos guiados pelas

emergências das interações, além de mostrar novas possibilidades que podem ser mais adequadas que as previamente estabelecidas.

4.2.2.5 Evolui pelo processo variação-seleção

A variação é a capacidade que o sistema complexo possui de explorar possíveis configurações em diferentes escalas de seu espaço de possibilidades (*fitness landscape*) (HEYLIGHEN e CAMPBELL, 1995). Nesse processo, produz muitas e diferentes subestruturas, muitas das quais são instáveis e podem ser eliminadas pela capacidade de seleção (HEYLIGHEN, 1988).

A empresa focal de uma cadeia de suprimentos pode utilizar o processo variação-seleção para explorar todas as possibilidades que ela possui dentro da cadeia, de diferentes pontos de vista (fornecimento, distribuição, varejo, entrega, satisfação do consumidor etc). Pode perceber, ainda, quais as empresas que funcionam de forma mais estáveis, as menos estáveis e as instáveis, além de distinguir as que mais agregam valor ao produto final. A partir dessa análise, pode eliminar as mais instáveis e as que menos agregam valor, mantendo e aperfeiçoando as que mais agregam valor, além de determinar critérios, para selecionar empresas parceiras mais sintonizados com os propósitos da empresa focal, ou pelo menos, dispostas a se integrar aos propósitos dela.

4.2.2.6 Capacidade de memória

A memória de um sistema complexo não está localizada num ponto específico dele, ela está distribuída pelo sistema. Constitui-se pela trajetória assumida pelo sistema no decorrer da existência dela (CILIER, 2000). A memória é de fundamental importância no comportamento do sistema, pois demonstra os erros cometidos e os fatores que nortearam a auto-organização.

Quando uma empresa toma a decisão de trabalhar em conjunto com outras empresas, formando arranjos empresariais começa uma história que envolve o tipo de arranjo que será mais adequado àquela situação específica. Assim, a seleção dos parceiros, as regras que serão seguidas por eles, a empresa que comandará a cadeia e todas as questões relacionadas às empresas individuais e à gestão conjunta e integrada da cadeia, devem ficar registrados e serem consultados para análise do comportamento da cadeia ao longo da trajetória.

4.2.2.7 Capacidade de criar esquemas internos

Apesar de possuir estruturas físicas diferentes, os sistemas complexos adaptativos possuem a capacidade de acessar informações do seu ambiente e de suas interações com o ambiente, identificando regularidades nas informações captadas, condensando-as num esquema e agindo a partir desse esquema (GELL-MANN, 1996).

A identificação de regularidades nas interações dentro da cadeia e com o ambiente é uma prática que pode facilitar a tomada de decisão. Essas regularidades podem ser organizadas e formar um esquema-guia para as práticas bem-sucedidas e as mal-sucedidas dentro de uma cadeia de suprimentos. Outro aspecto importante dessa propriedade é entender que cada empresa membro da cadeia possui esquemas individuais orientados por suas crenças, valores e propósitos. Apesar disso, no momento em que se relacionam integradas com outras empresas e entidades, formando um arranjo empresarial, elaboram um esquema compartilhado, composto de regras, que nortearão os relacionamentos integrados.

4.2.2.8 Autonomia – Dependência

Os indivíduos constroem o mundo no decorrer de sua trajetória de vida, ao mesmo tempo em que são transformados pelas interações com o mundo exterior. Os seres vivos são autônomos, por isso não podem se limitar a receber passivamente informações e comandos vindos de fora. A autonomia é uma característica do ser vivo isolado, sem interação com o meio. Portanto, quando ele é observado em interação com o ambiente, torna-se evidente a sua dependência dos recursos externos para sobreviver (MATURANA e VARELA, 2001).

As empresas, como os seres vivos, também, possuem autonomia. Cada uma age de acordo com seus objetivos estratégicos; e dentro dos limites do mercado em que atua tem autonomia de ação e reação. Contudo, com a globalização da economia e as maiores exigências do cliente final, cada vez mais uma empresa depende de outras para se manter competitiva no mercado. Baixo custo e qualidade são obrigações de qualquer empresa para se manter com relativa estabilidade. A diferenciação passa a ser buscada na flexibilidade em se adaptar às mudanças do mercado e dos clientes e na redução do prazo de entrega, como alternativa para atingir a diferenciação, surgem as configurações expandidas da empresa e os arranjos, do tipo das cadeias de suprimentos. Ao mesmo tempo em que dependem das outras empresas e do ambiente para sobreviver possuem autonomia para identificarem as

oportunidades de associação com outras empresas e formarem acordos de colaboração em que ambas as partes ganham ou permanecerem funcionando isoladas.

4.2.2.9 Capacidade de auto-organização

A combinação da estrutura, das interações e da emergência do sistema, propriedades e características dos sistemas complexos, formam espontaneamente um tipo de auto-organização que norteia o sistema. A auto-organização acontece quando um comportamento emergente produz uma mudança na estrutura dele (GELL-MANN, 1996; ANDERSON, 1999; HEYLIGHEN, 1988).

Apesar de o termo “auto-organização” ser desconhecido, nas questões relacionadas a arranjos empresariais, ele surge constantemente quando os membros de uma cadeia de suprimentos discutem novas estratégias de vendas ou de redução de estoques. No entanto, os membros das empresas participantes da cadeia desconhecem o termo, e os comportamentos novos que emergem das interações podem ser desconsiderados, em decorrência do temor que a mudança na estrutura da cadeia pode gerar e, com essa atitude, perder oportunidades.

4.2.2.10 Capacidade de co-evolução

Todos os sistemas buscam o equilíbrio, processo no qual interagem com muitos outros para trocar energia e recursos. Pela interação, os sistemas tentam se adaptar ao seu ambiente e aumentar sua aptidão constantemente (TURCHIN, 1995). Nessa busca ocorre a co-evolução dos sistemas, pois o aumento na aptidão de um sistema depende das escolhas feitas por outros que estão conectados por interações (GELL-MANN, 1996; ANDERSON, 1999; HEYLIGHEN, 1988).

Num arranjo de empresas, a intenção é otimizar resultados a partir da formação de relações colaborativas e acordos de integração, em que todas as partes envolvidas ganhem, ao passo que o gasto em captar energia e recursos do ambiente seja reduzido. Isso acontece porque existem mais agentes (empresas) captando recursos e energia com o mesmo objetivo. Nessa situação, cada empresa, individualmente, aumenta a capacidade de se manter eficientemente no mercado e, por consequência, favorece as parcerias dela a, também, aumentar a aptidão. Assim, tem-se no processo de co-evolução, um jogo de soma positiva, no qual a melhora de uma empresa depende da melhora da outra. Cientes disso, todas elas tentam

fazer escolhas favoráveis à evolução do conjunto de empresas que formam a cadeia de suprimentos.

4.2.2.11 Os sistemas complexos mudam

Os sistemas complexos variam, mas permanecem com uma determinada parcela de estabilidade. As mudanças não ocorrem todas ao mesmo tempo, existindo alguma forma de inércia ou continuidade que as limita (HEYLIGHEN, 1988). Assim, tanto a organização interna do sistema como as conexões entre os sistemas podem mudar. Em analogia aos processos celulares, na organização interna, as mudanças ocorrem como no processo de mutação, no qual muda um ou mais elementos dentro do sistema. Nas conexões entre os sistemas, as mudanças ocorrem como no processo de recombinação, em que novas conexões são agregadas ao sistema. Essas novas conexões podem evoluir, ao longo do tempo, mudando o padrão de interconexões, a intensidade de cada conexão e as formas de funcionamento (HEYLIGHEN, 1988).

Saber identificar as mudanças e reconhecer quando elas precisam acontecer é um fator de vantagem competitiva para as empresas. Nos arranjos empresariais, as mudanças ocorrem dentro de cada empresa-membro, na organização interna da empresa (como se fosse uma mutação numa célula) e nas conexões entre as empresas (como se fosse uma recombinação numa célula). Essas mudanças devem ser observadas, pois, com o passar do tempo, elas podem mudar o padrão de interconexões, a intensidade de cada conexão e as formas de funcionamento, afetando positiva ou negativamente o desempenho da cadeia de suprimentos.

Na seção 4.2.2 e as subseções componentes, foram apresentadas as principais propriedades dos sistemas complexos e apropriação destas pelas cadeias de suprimentos. Procedeu-se dessa forma, porque neste trabalho considera-se uma cadeia de suprimentos como um sistema complexo. No Quadro 22, descrevem-se os possíveis benefícios que essas propriedades podem trazer à formação e gestão de uma cadeia de suprimentos.

O Quadro 22 sumariza as principais propriedades dos sistemas complexos extrapoladas para uma cadeia de suprimentos. O objetivo é mostrar os possíveis benefícios que o referencial das Ciências da Complexidade pode trazer aos processos de formação e gestão de um arranjo empresarial, destacando, principalmente, que a abordagem apropriada à intervenção, nos arranjos empresariais, como as cadeias de suprimentos, deve assumir uma visão sistêmica, dinâmica e não-linear.

Propriedades dos Sistemas Complexos atribuídos à Cadeia de Suprimentos	
Propriedades	O reconhecimento dessa propriedade pela cadeia de suprimentos pode possibilitar.....
Adaptação	Conhecer, identificar e acessar as informações sobre os relacionamentos de cada membro da cadeia com os parceiros e a interação da cadeia com o mercado, para se antecipar às perturbações externas adaptando-se.
Estrutura em várias escalas	Conhecendo as diferentes estruturas de cada empresa componente da cadeia, bem como as tecnologias utilizadas para compartilhar informações, é possível perceber onde estão as restrições e a falta de agilidade no compartilhamento de informações, além de distinguir as estruturas complementares das estruturas incompatíveis.
Emergência	Identificar os objetivos da cadeia de suprimentos que estão refletidos em todas as empresas que a compõem e, ao mesmo tempo, se os objetivos das empresas parceiras estão incluídos nos objetivos da cadeia de suprimentos como um todo.
Variedade-Variabilidade	Auxiliam na verificação de possíveis alterações geradas pelas interações no planejamento estipulado previamente para gestão da cadeia de suprimentos.
Evolui pelo processo variação-seleção	O processo pode ser útil para captar as instabilidades e as estabilidades geradas pelas empresas na cadeia, eliminar as instabilidades e selecionar os procedimentos mais estáveis e benéficos ao desenvolvimento do grupo de empresas.
Capacidade de memória	Analisar o comportamento da cadeia ao longo de sua trajetória, captando as melhores práticas e os erros mais frequentes.
Capacidade de criar esquemas internos	A partir da identificação das regularidades nas interações e no comportamento das empresas individuais e da cadeia como um todo, bem como as mudanças que houve na sua trajetória de evolução, também, oferecer suporte para criar um esquema-guia para a tomada de decisão.
Autonomia-Dependência	Compreender que a cooperação é a nova “arma” para conseguir se manter com eficiência no mercado competitivo. A autonomia da empresa é limitada e depende do desempenho das outras componentes da cadeia para se desempenhar bem.
Auto-organização	Aproveitar os novos comportamentos que surgem das interações e analisar quais podem trazer benefícios, se incorporados à estrutura da cadeia.
Co-evolução	Consciência de que as atitudes positivas de uma empresa-membro favorecem o aumento da aptidão de outra empresa e, por consequência, a cadeia como um todo. Da mesma forma uma atitude negativa repercute nos parceiros e na cadeia. A atitude de uma empresa influi no processo de evolução da outra e vice-versa.
Mudança	Identificar as mudanças internas às empresas e as mudanças nas conexões entre essas empresas. O importante é saber quando essas mudanças são positivas para a evolução da cadeia e quando elas não devem acontecer.

Quadro 22: Benefícios que as propriedades dos sistemas complexos podem trazer às cadeias de suprimentos

4.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste Capítulo, discutiu-se a mudança da visão isolada de gestão empresarial para a visão compartilhada. Esse fato se confirma pelas muitas nomenclaturas usadas para expressar essa tendência, como: arranjos, redes, cadeias, parceiros, *core competences*, integração, entre outros.

Essa mudança ocorreu por imposição do mercado, percebendo-se que a lógica de formação dos arranjos empresariais segue a mesma das teorias formadas com base nas Ciências da Complexidade. A Ciência Clássica, com Aristóteles, e depois a Ciência Moderna com Descartes, fundamentaram-se no paradigma reducionista, no qual a subjetividade do observador é excluída da análise, ao mesmo tempo em que os sistemas são repartidos e analisados, fragmentando-se as partes do todo. As “Novas Ciências” ou as Ciências da Complexidade empregam outra lógica de intervenção nos fenômenos. Elas estabelecem que a subjetividade do observador é inerente ao objeto observado, que passa a ser denominado “sistema organizado”, a compreensão do qual associa partes e todo num movimento recursivo e vital.

Dessa forma, buscou-se discutir neste Capítulo, desde a origem de formação dos arranjos empresariais até os instrumentos usados para efetuar sua integração. Em seguida, apresentaram-se as similaridades entre a lógica de funcionamento dos arranjos empresariais, em especial as cadeias de suprimentos e a lógica de funcionamento das Ciências da Complexidade.

A partir das similaridades apresentadas, considerou-se uma cadeia de suprimentos como um sistema complexo. Como tal, a cadeia de suprimentos assume todas as propriedades dele, o que aumenta as suas possibilidades de ação e reação junto a seus parceiros e com o ambiente.

Assim, pôde-se notar, ao longo da elaboração deste Capítulo, que as Ciências da Complexidade, pouco conhecidas e utilizadas na formação e gestão de arranjos empresariais, é uma alternativa viável para tratar as questões relativas aos relacionamentos complexos que formam a estrutura da cadeia de suprimentos.

Na seqüência, no próximo Capítulo, apresenta-se, como proposta, um modelo de referência para representar sistemas complexos sociais. A modelagem proposta está fundamentada nos Capítulos 2 e 3 deste trabalho; o Capítulo 6 apresenta a validação do modelo proposto, fundamentado neste Capítulo.

CAPÍTULO 5: PROPOSTA DE UMA MODELAGEM DE REFERÊNCIA PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS SOCIAIS

Este Capítulo descreve uma proposta de modelagem de referência para representar sistemas complexos sociais, tal como as organizações empresariais, desenvolvida a partir do referencial teórico explorado nos Capítulos 2, 3 e 4. Esta modelagem foi elaborada com o propósito de compreender o funcionamento de um sistema complexo social, ao representá-lo a partir da observação da dinâmica de funcionamento dos sistemas complexos naturais (florestas, colônias de formigas, sistemas biológicos, etc.), além de ser empregada como instrumento de intervenção no comportamento exibido por estes sistemas, por meio do desenvolvimento de métricas para a mensuração de algumas das etapas propostas na modelagem. Destaca-se, também, que a modelagem proposta foi desenvolvida a partir da percepção de que a otimização das partes emerge da qualidade das interações entre elas. Dessa forma, o propósito é evidenciar o comportamento das interações no sistema modelado, considerando as partes diferentes e as conexões entre elas, usando-se para tal o paradigma sistêmico. Inicialmente, apresenta-se a modelagem proposta, seguida por discussões sobre sua implementação, ao final das quais, são mostradas as conclusões.

5.1 FASES E ETAPAS DA MODELAGEM

A modelagem proposta neste trabalho, para representar sistemas complexos sociais, está descrita no Quadro 23 e ilustrada na Figura 17. Ela foi desmembrada em fases; estas, em etapas. Cada uma das fases e suas etapas estão descritas na seqüência.

A modelagem é a forma de conceber uma idéia e depois representá-la o mais próximo possível da realidade (LE MOIGNE, 1977). Toda modelagem começa pela percepção que o observador tem do sistema observado. Nesse caso, a modelagem desenvolvida para representar sistemas complexos sociais é norteada pelo paradigma sistêmico, seguindo a lógica das Ciências da Complexidade. Sua construção obedece a algumas fases e etapas básicas, conforme mostra o Quadro 23.

Sistema a ser Modelado	
Fases e Etapas da Modelagem Proposta	
Fases	Etapas
Fase 1: Preparação	Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõe Etapa 2: Nivelamento conceitual Etapa 3: Caracterização do sistema
Fase 2: Determinação do nível de evolução do sistema	Etapa 1: Definição dos níveis de evolução em complexidade, nos quais serão enquadrados os sistemas Etapa 2: Identificação das características que indicam o nível de evolução do sistema
Fase 3: Caso seja analisado mais de um sistema, simultaneamente, observar se apresentam níveis de evolução diferentes e se precisam ser compatibilizados. Se apresentar e for necessário a compatibilização, torná-los compatíveis	Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades dos sistemas analisados Etapa 2: Reunião com os agentes envolvidos no processo Etapa 3: Demarcação dos pontos onde haverá mudança Etapa 4: Desenvolvimento de medidas para elevar os níveis de complexidade mais baixos
Fase 4: Localização espaço-temporal do sistema	Etapa 1: Localização temporal do sistema Etapa 2: Localização espacial do sistema Etapa 3: Identificação do <i>status</i> do sistema analisado-o, a partir de alguns conceitos-chave
Fase 5: Construção da arquitetura para o sistema	Etapa 1: Determinação dos componentes da estrutura do sistema Etapa 2: Descrição da estrutura vertical do sistema Etapa 3: Descrição da estrutura horizontal do sistema
Fase 6: Definição da dinâmica para a arquitetura do sistema	Etapa 1: Estabelecimento da percepção do observador Etapa 2: Determinação dos elementos do sistema Etapa 3: Articulação dos elementos do sistema Etapa 4: Dar funcionalidade ao sistema Etapa 5: Indicação da auto-organização do sistema Etapa 6: Monitoramento do funcionamento do sistema

Quadro 23: Descrição das fases e etapas da modelagem proposta

A Figura 17 apresenta as fases e etapas propostas na modelagem, de forma esquemática.

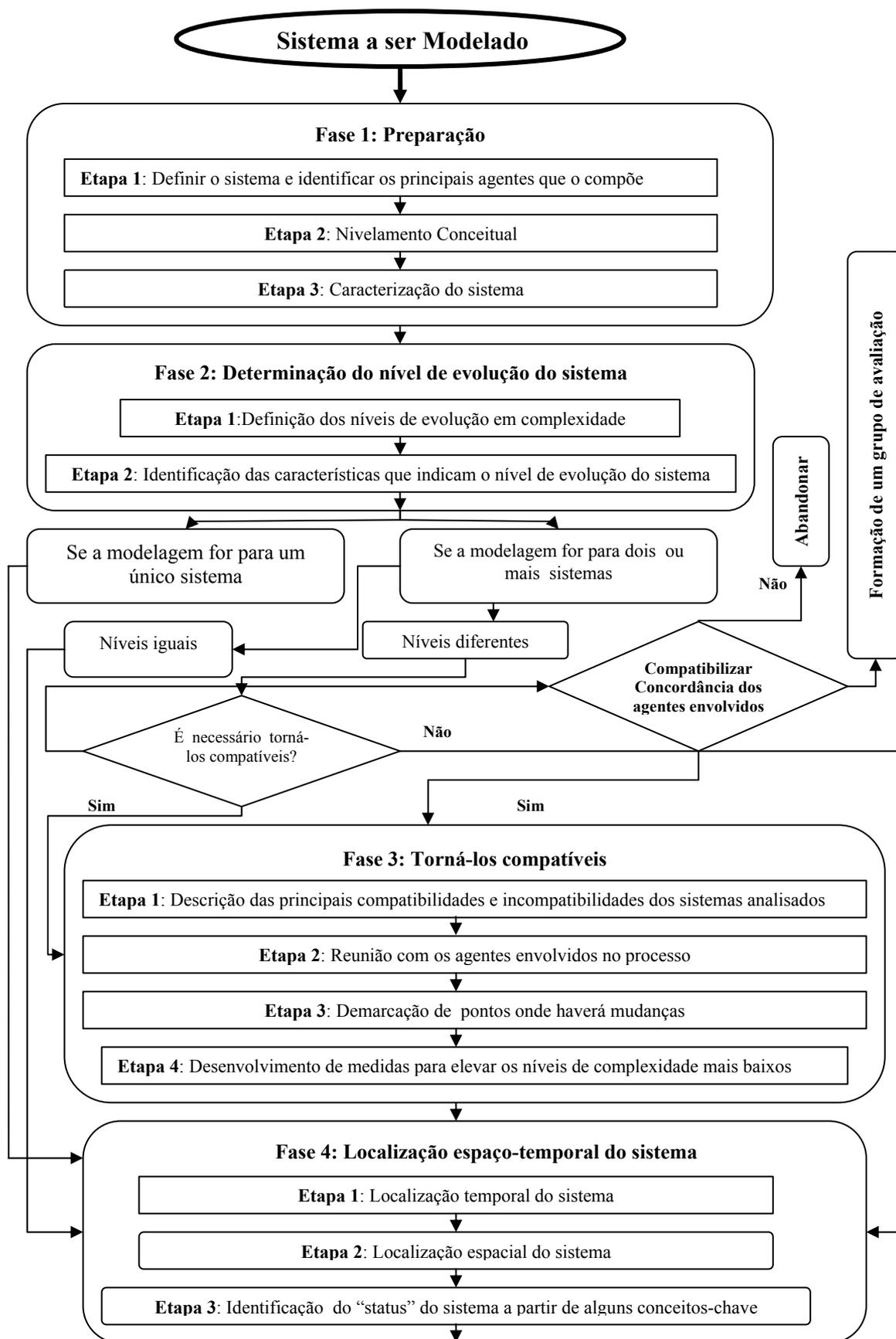


Figura 17: Seqüência de fases e etapas necessárias para a modelagem de um sistema complexo (continua...)

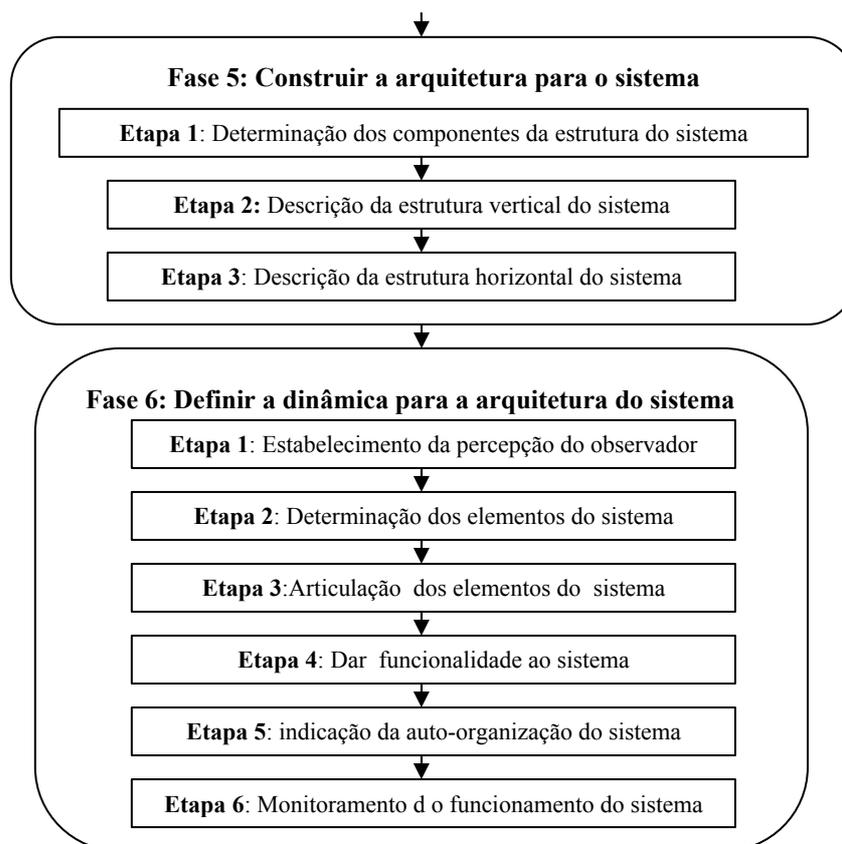


Figura 17: Seqüência de fases e etapas necessárias para a modelagem de um sistema complexo (...Conclusão)

Para se perceber a complexidade dos sistemas, é necessário que estes apresentem um misto de ordem e desordem. Na desordem completa, não existe formação de estrutura ou diferenciação de funções, o que impossibilita a reprodutibilidade do sistema e, portanto, inviabiliza o estudo. Nos sistemas totalmente ordenados, a complexidade é desconsiderada; as relações são previsíveis, determinísticas e de total certeza, o que descaracteriza um sistema complexo e o torna irreal. Assim, nesta modelagem, os níveis de complexidade iniciam-se com a existência da estrutura, considerando-se que a ordem e a desordem são aspectos que fazem parte dos sistemas reais e não podem ser eliminados deles, já que são a própria essência da realidade. Dessa forma, os sistemas para se manterem eficientes no ambiente, precisam conviver com a situação intermediária de ordem-desordem em equilíbrio dinâmico.

A implementação da modelagem é iniciada pela existência de um sistema que esteja de acordo em ser representado como um sistema complexo. Em outras palavras, é necessário que exista demanda pela modelagem proposta para que ela seja implementada.

5.1.1 FASE 1: PREPARAÇÃO

O objetivo dessa fase é delimitar o estudo. Para isso, define-se o sistema que será modelado e identificam-se os principais agentes envolvidos. Na seqüência, procede-se ao nivelamento dos conceitos que serão empregados e a caracterização do sistema. A seguir, são detalhadas as três etapas que a compreendem.

Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõe

Nessa etapa descreve-se o sistema que será modelado e identificam-se os principais agentes que o compõe e participaram diretamente do projeto da modelagem proposta.

Etapa 2: Nivelamento conceitual

O propósito dessa etapa é discutir alguns aspectos que a modelagem aborda, de modo a nivelar o conhecimento dos agentes envolvidos em relação a conceitos que são pressupostos dela. Nessa modelagem, os temas básicos são: complexidade, sistema, sistema complicado, sistema complexo, sistema complexo adaptativo, agente, interação, organização, auto-organização, estrutura, emergência e modelagem.

Complexidade. O termo “complexidade” é usado de diferentes formas e em diferentes domínios dos sistemas. Os diversos usos do termo dependem do tipo de sistema caracterizado ou da perspectiva disciplinar assumida. Logo, a complexidade pode ser estudada: do ponto de vista da **estrutura** do sistema, referindo-se à composição do sistema e a sua intrínseca configuração; do ponto de vista da complexidade **funcional**, enfatiza a heterogeneidade do sistema dinâmico; e a complexidade **auto-organizada** desdobrada em propriedades emergentes e co-evoluindo com o ambiente. Inicialmente, essas análises são feitas por meio de interações locais e, após, por *feedbacks* de diferentes escalas espaço-temporais. Nessa modelagem, a complexidade é assumida, em cada um desses pontos de vista, em momentos diferentes da implantação da modelagem.

Sistema. O conceito de sistema, nas suas mais diversas aplicações, está relacionado às idéias de totalidade e inter-relações. A noção de organização, na maioria das vezes, não se incorpora ao conceito de sistema. Nessa modelagem, o termo sistema é definido, segundo

Morin (2003,p.132), como uma entidade global organizada por inter-relações entre elementos, ações e indivíduos.

Sistema Complicado. É um sistema caracterizado pela possibilidade de todos os seus elementos e relações serem identificados e definidos. As relações de causa e efeito entre os componentes podem ser separadas; pela compreensão das ligações, é possível controlar os resultados do sistema.

Sistema Complexo. Existe uma grande diversidade de sistemas complexos, os quais podem ser humanos, ecológicos, sociais, políticos ou econômicos, contudo compartilham algumas características comuns:

- possuem duas ou mais diferentes partes ou elementos;
- as partes são conectadas umas às outras, sendo difícil separá-las;
- as partes não podem ser analisadas, nem separadas num conjunto independente de elementos sem que o sistema seja destruído.

Assim, os sistemas complexos estão em constante mudança, por isso é difícil estabelecer todos os seus componentes e interações. O sistema não pode ser reduzido. Causa e efeito são inseparáveis, por estarem fortemente interligados. Tais sistemas podem ser caracterizados por propriedades emergentes, interações em várias escalas, comportamento imprevisível e auto-organizado.

Sistema Complexo Adaptativo. É um sistema que aprende e evolui; exibe variedade, capacidade de seleção e interage entre si e com o ambiente. Do ambiente processa informações e capta regularidades.

Agente. O termo “agente” apresenta diferentes conotações, conforme a área que o utiliza. Na Biologia e nos Sistemas Sociais, pode ser definido como um objeto com mecanismos vitais, um sujeito, por exemplo. Na Física, pode ser qualquer entidade capaz de influenciar outros ao seu redor. Para a Ciência da Computação, um agente é um objeto interagindo com outros objetos ou um objeto utilizado para fornecer o ambiente no qual outros objetos interagem (VILLEGAS, 2001). Na Ciência da Complexidade, é uma entidade capaz de ação, reação e reflexão, interferindo no ambiente em que atua e influenciado pelo ambiente. Neste trabalho, o termo agente é utilizado de acordo com a concepção das Ciências da Complexidade.

Interação. As interações fazem surgir a dinâmica do sistema. São ações recíprocas que modificam o comportamento dos componentes do sistema; em certas condições (associações, combinações, ligações, comunicações), dão origem à organização.

Organização. É a cadeia de interações e inter-relações entre os componentes que produzem um sistema, dotando-o de qualidades desconhecidas no âmbito dos componentes individuais. A organização conecta os diferentes componentes do sistema dando-lhes forma de todo e assegurando uma certa estabilidade, a qual possibilita resistência a perturbações aleatórias.

Auto-organização. Capacidade que o sistema complexo possui de produzir comportamentos novos, sem um prévio planejamento nem coordenador central, a partir da própria estrutura e das interações. O processo de auto-organização pode mudar a estrutura do sistema.

Estrutura. Arcabouço estático e essencial que suporta a dinâmica das interações, a qual produz a organização do sistema.

Emergência. São as qualidades ou propriedades de um sistema que apresentam um caráter de novidade com relação às qualidades ou propriedades dos componentes considerados isolados. As propriedades novas nascem das associações e combinações, o que favorece a estabilidade e possibilita a evolução.

Modelagem. Modelar um sistema é representá-lo o mais próximo possível da realidade. Para modelar um objeto existem duas abordagens principais: a abordagem analítica e a abordagem sistêmica. A abordagem analítica é a mais difundida no mundo ocidental, considera o objeto separado do seu sujeito. Em outras palavras, desconecta cada parte do sistema para estudá-la separadamente do seu contexto. A abordagem sistêmica, menos divulgada no mundo ocidental, pressupõe que sujeito e objeto estão conectados por interações, estas não devem ser desligadas, pois podem destruir o sistema original. A abordagem analítica é apropriada à modelagem de sistemas complicados; a abordagem sistêmica, aos sistemas complexos. Neste trabalho, emprega-se o conceito de sistema como instrumento da modelagem, a qual se realiza com base na abordagem sistêmica.

Etapa 3: Caracterização do Sistema

Essa etapa tem o propósito de identificar e descrever o sistema que será modelado. Os sistemas possuem características e capacidades diferentes, mesmo pertencendo a um mesmo grupo de sistemas complexos, tal como os sistemas sociais. O conhecimento do todo vem do

conhecimento das partes e suas interações. Essa etapa pode ter diferentes desdobramentos, em decorrência das características do sistema modelado.

5.1.2 FASE 2 : DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EVOLUÇÃO DO SISTEMA COMPLEXO

Nessa fase, o objetivo é identificar o nível de evolução em complexidade do sistema observado. Para isso, desenvolveu-se um instrumento, exposto no Quadro 24, empregado para diagnosticar em que nível de evolução o sistema pode ser enquadrado. Propõem-se sete características básicas: (1) estrutura funcional; (2) reconhecimento, captação e processamento da informação; (3) reconhecimento e compreensão das regularidades e aleatoriedades; (4) esquema dominante; (5) condições internas intermediárias ordem-desordem; (6) mecanismo de controle interno do sistema e (7) escala de análise para a qual o sistema direciona sua atenção, as quais foram identificadas a partir da literatura pesquisada (ver Capítulo 2, seção 2.4) e devem ser aprimoradas usando observação direta e entrevistas semi-estruturadas com os principais agentes envolvidos no sistema modelado. O roteiro de entrevistas está ilustrado no apêndice A, o qual foi elaborado para validação específica deste trabalho. Em outras validações tal apêndice deve ser adaptado. As informações contidas no Quadro 24 são referenciais e genéricas e podem ser adaptadas de acordo com as características do sistema modelado. Estas características indicam comportamentos que identificam em qual dos nove níveis de complexidade assumidos nesta modelagem o sistema pode ser enquadrado. Os níveis estabelecidos são: (1) estrutura inflexível; (2) estrutura dinâmica; (3) estrutura controlável; (4) estrutura aberta; (5) estrutura com especialização de funções; (6) estrutura capaz de armazenar informações; (7) estrutura capaz de ação e reflexão; (8) estrutura capaz de auto-organização; estrutura inteligente capaz de perceber e se adaptar às mudanças. O Quadro 24 mostra as características, os comportamentos e os níveis de complexidade propostos nesta modelagem.

Etapa 1: Definição dos níveis de evolução em complexidade nos quais podem ser enquadrados os sistemas

Níveis de complexidade. A complexidade evolui em níveis. Eles estão diretamente relacionados ao processo de variação-seleção-interação, gerando cooperação e/ou

competitividade. Esse processo acontece continuamente no interior do sistema. Em cada nível, o sistema busca otimizar sua aptidão para se adaptar ao ambiente, motivo por que emergem características próprias em cada nível. Assim, o termo “níveis de complexidade” é entendido, nesta modelagem, como a capacidade que o sistema possui de perceber e se ajustar às perturbações externas e internas. Assume-se que, quanto mais evoluído é o sistema, maior é a capacidade que ele possui de perceber as perturbações externas e internas e se ajustar a elas, sobrevivendo eficientemente em seu ambiente. Destaca-se que, os níveis de complexidade refletem a escala de análise, o ambiente e a percepção do observador, por isso eles podem variar em quantidade e diferir em interpretações como pode ser evidenciado no Capítulo 2, seção 2.4, desse trabalho. Além disso, nessa modelagem, se propõe representar sistemas que pertencem ao mesmo grupo de sistemas complexos, os sociais. Dessa forma, os níveis de complexidade se referem a situação que eles exibem em determinado momento. Não se pretende analisar sistemas complexos de grupos diferentes (biológicos, sociais, minerais, etc.), destacando o nível de evolução que possuem e investigando a possibilidade de serem integrados e funcionarem eficientemente.

Nessa modelagem, propõem-se nove níveis de complexidade, dispostos em ordem decrescente, nos quais o nível nove é o mais alto em complexidade e o nível um é o mais baixo. O estabelecimento dos nove níveis fundamentou-se na literatura pesquisada que demonstrou percepções variadas sobre o tema. Alguns dos autores pesquisados discorrem sobre a evolução dos sistemas complexos sem a determinação explícita de níveis, outros estabelecem níveis de evolução que variam de quatro a onze. Observou-se que, há concordância entre os autores pesquisados de que os sistemas complexos evoluem em níveis, independente do tipo de sistema analisado (biológico, humano, social, etc.), mas cada autor possui uma percepção sobre os mecanismos que estão por trás desta evolução, como foi discutido no Capítulo 2, seção 2.4, desse trabalho. Com base nos autores pesquisados e de acordo com a percepção do observador foram definidos os níveis de evolução em complexidade para a modelagem de sistemas complexos sociais proposta. Considera-se que nove níveis são adequados para expressar os comportamentos apresentados por tais sistemas, tendo sido diretamente influenciados pelas propostas de Boulding (1956) e de Le Moigne (1977), detalhadas no Capítulo 2, seções 2.4.3.2 e 2.4.3.3.

O objetivo da modelagem é auxiliar os sistemas a alcançarem um nível de complexidade mais alto. Os três primeiros níveis é uma analogia aos sistemas não adaptativos. Eles não produzem esquemas que possam ser reproduzidos, são sistemas fechados e de baixa cooperação. Estes três níveis são:

1. **Estrutura Inflexível:** o sistema apresenta uma estrutura interna bem definida e suficientemente forte para resistir às influências externas, por isso acreditam que não necessitam de ajustes na capacidade de funcionamento interna. Isso porque, nesse nível, o sistema não é capaz de mudar internamente.
2. **Estrutura Dinâmica:** o sistema apresenta funções específicas e atividades bem definidas com relativa estabilidade no tempo e identidade preservada, mas não há capacidade de ajuste interno para se adequar às influências externas.
3. **Estrutura Controlável:** o sistema apresenta mecanismos internos que captam regularidades no seu comportamento para selecionar os próximos comportamentos, mas não existe capacidade de ajustes internos para se adequar às influências externas.

Esses três níveis mostram características mecânicas, com baixa autonomia de auto-ajuste. Os sistemas complexos sociais teoricamente não poderiam ser enquadrados nesses níveis, contudo consideram-se na modelagem proposta porque os sistemas com capacidades superiores, como os formados por seres humanos, podem apresentar restrições que inibam a percepção das reais capacidades que possuem e por esse motivo funcionem à margem de suas reais capacidades.

Os 4º, 5º e 6º níveis são análogos aos sistemas complexos mal-adaptativos. Eles produzem esquemas, mas não apresentam regularidade nessa tarefa, os padrões de comportamento podem levar muito tempo para serem alterados. São sistemas abertos e de média cooperação.

4. **Estrutura aberta:** o sistema capta informações e apresenta um relativo grau de diferenciação de funções e atividades. Por causa da diferenciação interna, consegue um certo grau de ajuste, mas de baixo grau em relação às perturbações externas.
5. **Estrutura com especialização de funções:** o sistema possui funções diferenciadas e capacidades específicas para realizar determinadas tarefas. Devido à divisão de tarefas, aumenta a capacidade de ajuste às perturbações externas.

6. **Estrutura capaz de armazenar informações:** o sistema tem capacidade de memória e acumula informações do passado, que podem nortear as decisões presentes e futuras. A capacidade de memória aperfeiçoa a capacidade de ajuste interno, que por sua vez capta às perturbações externas.

Esses três níveis apresentam características dos seres vivos, com média capacidade de autonomia e de auto-ajuste.

Os 7º, 8º e 9º níveis correspondem aos sistemas complexos adaptativos. Eles têm como principais características a produção de esquemas regulares, que podem ser identificados, acessados, reconhecidos, descritos, reproduzidos, e a capacidade de aprendizagem. São sistemas inteligentes e de alta cooperação.

7. **Estrutura capaz de ação e reflexão:** o sistema incorpora a capacidade de percepção das diferentes partes que o compõem e de suas conexões. Isso possibilita a coordenação das partes por meio do processo ação-reflexão-reação, levando ao ajuste entre a organização interna do sistema e às perturbações impostas pelo ambiente.
8. **Estrutura capaz de auto-organização:** o sistema adquire a capacidade de reconhecer a diversidade interna, a individualidade de cada componente, reconhecer e acessar as interações entre os componentes do sistema e, num processo autônomo, usar os resultados das interações locais para selecionar subconjuntos que melhorem a capacidade do sistema. Existe um grande ajuste da organização interna em função das perturbações externas. A auto-organização pode ser baseada no conceito de atrator, no conceito de hierarquia, no conceito de autopoiese e no conceito de fractal. Esses tipos de auto-organização estão detalhados no Capítulo 3, seção 3.3.1.2. Nessa modelagem, considera-se que a auto-organização é orientada pelo conceito de hierarquia, detalhada no Capítulo 3, seção 3.3.1.2.3, desse trabalho.
9. **Estrutura inteligente capaz de perceber e se adaptar às mudanças:** o sistema apresenta um perfeito ajuste entre a organização interna e as perturbações externas.

Esses três níveis apresentam características dos seres humanos, com cognição e capacidade de auto-organização. Os sistemas complexos sociais que estão incluídos nesses níveis são aqueles que, além de possuir tais características são capazes de reconhecê-las,

acessá-las e utilizá-las a seu favor. Nem todos os sistemas complexos sociais estão incluídos nesses três níveis, eles possuem a capacidade de cognição e auto-organização, mas nem sempre reconhecem, acessam e utilizam estas capacidades.

Etapa 2: Identificação das características que indicam o nível de evolução do sistema

Evolução do Sistema: A evolução é um processo hierárquico e recursivo que possibilita ao sistema aumentar sua complexidade no tempo. O sistema passa por transformações, numa escala espaço-temporal, onde certas partes dele são conservadas, durante determinado período, enquanto outras são mudadas. A escala de evolução assumida nessa modelagem segue a lógica da abordagem estrutural, observando a hierarquia assumida pelos sistemas no seu processo de evolução (SIMON, 1969), a qual é detalhada no Capítulo 2, seção 2.4.3.1, desse trabalho.

No Quadro 24, apresentam-se os nove níveis decrescentes, do mais alto nível de complexidade para o mais baixo nível de complexidade, em que o sistema pode ser enquadrado. Além disso, cruzam-se os níveis com as características básicas identificadas, as quais indicam comportamentos genéricos para cada um dos nove níveis de evolução em complexidade propostos.

Para conseguir reconhecer os comportamentos genéricos, faz-se necessário identificar:

1. **a estrutura funcional do sistema:** consiste em levantar as características que identificam a estrutura funcional do sistema. Em outras palavras, identificar a estrutura hierárquica de poder empregada pelo sistema nas relações internas com seus agentes.
2. **como as informações são identificadas, captadas e processadas pelo sistema:** o que diferencia um sistema com um nível de evolução superior de outro é a forma como ele capta e interpreta as informações, o fluxo das quais pode ser definido como uma fonte de mudanças. A mudança resulta do trabalho, o qual requer energia. Esta se torna uma forma de informação. Para identificar como as informações são processadas pelo sistema, pode-se utilizar o seguinte roteiro:

Tipo de Sistema	Nível de evolução em complexidade	Características								
		Estrutura funcional (1)	Reconhecimento, captação e processamento da informação (2)	Reconhecimento e compreensão de regularidades e aleatoriedade (3)	Esquema dominante (4)			Condições internas intermediárias ordem-desordem (5)	Mecanismo de controle interno do sistema (6)	Escala de análise para a qual o sistema direciona sua atenção (7)
Analogia	Níveis de Complexidade e Estrutura predominante no sistema				O esquema tende a se adaptar as mudanças?	O esquema não indica uma adaptação às mudanças?	O esquema pode levar o sistema à extinção ?			
Análogos aos sistemas complexos adaptativos Sistemas Inteligentes Alta cooperação	(9) Estrutura inteligente, capaz de perceber e se adaptar às mudanças.	Não existe uma estrutura hierárquica de poder. A estrutura é horizontalizada com um eficiente ajuste entre a organização interna do sistema e as perturbações vindas do ambiente externo.	O sistema possui uma estrutura flexível e integrada, por isso consegue distribuir as informações captadas do ambiente e da memória interna do sistema, de modo uniforme por todo ele.	O sistema possui esquemas internos, os quais selecionam os padrões de regularidade por meio da compreensão dos erros e acertos no processo de tomada de decisão. Há uma maior confiança nos relacionamentos e por consequência um maior compartilhamento das informações. Na memória do sistema são armazenadas as informações pertinentes a trajetória de evolução dele.	Sistemas norteados por atratores estranhos	-----	-----	O sistema percebe o misto de ordem e desordem como condição essencial para: a emergência de novas estruturas; a manutenção do sistema com a variedade de subsistemas; a possibilidade de seleção de subsistemas estáveis e a possibilidade de permanente renovação do sistema.	O sistema cria regras internas que funcionam como mecanismo de controle interno. As regras são de mútuo monitoramento, nas quais há recompensas pela obediência e punição pela desobediência. Nesse nível existem regras informais que podem se sobrepor ou se justapor às regras formais.	Envolve os sistemas com seus subsistemas, a rede de relacionamentos dele e o meio ambiente. As iniciativas empregadas para intervir nessa escala são: cooperação, autonomia, integração e compartilhamento de informações. O sistema busca interação e co-evolução.

Quadro 24: Diagnóstico do nível de evolução do sistema complexo(continua.....)

	(8) Estrutura capaz de auto organização	Nesse nível o sistema possui uma hierarquia de poder fraca. Possui uma estrutura mais horizontal que vertical. O sistema reconhece que a sua estrutura é formada de diferentes partes e dependem de muitas conexões. O sistema adquire autonomia de ação.	O sistema reconhece, capta e acessa as informações das mudanças ocorridas no ambiente e dos registros internos do sistema. O objetivo disso é se manter ajustado as necessidades do sistema e do ambiente	Nesse nível o sistema reconhece e compreende os padrões de regularidade e imprevisibilidade gerados por ele quando funciona. Isso garante mais flexibilidade ao sistema e maior poder de intervenção em comportamentos futuros.	Sistemas norteados por atratores estranhos	-----	-----	Nesse nível o sistema é capaz de se auto-organizar-se. Para atingir esse nível foi preciso reconhecer que eles funcionam em meio ao caos e a ordem e saber identificar e selecionar os aspectos da ordem e do caos.	Nesse nível o sistema cria regras internas que funcionam como mecanismo de controle do sistema. As regras são de mútuo monitoramento, onde há recompensas pela obediência e punição pela desobediência. Os mecanismos de controle externo, também interferem no desempenho do sistema.	Os sistemas estão muito voltados para a cooperação, por isso a escala de análise envolve os relacionamentos com outros sistemas e com o meio ambiente. As iniciativas usadas para intervir nessa escala são: cooperação, autonomia, integração e compartilhamento de informações. O sistema busca interação e co-evolução.
	(7) Estrutura capaz de ação e reflexão	A estrutura do sistema adquire habilidades específicas de ação, reflexão e reação, reduzindo consideravelmente a estrutura hierárquica de poder dentro e entre os subsistemas. A estrutura é formada de partes que interage com o todo, constantemente, sendo capaz de coordenar essa dinâmica.	O sistema tem capacidade de memória e tem consciência da importância de possuir registros da trajetória dele ao longo seu tempo de vida, apesar de NÃO os possuir formalmente. Nesse nível há compartilhamento de informações.	O sistema possui a capacidade de perceber as regularidades no fluxo de informações, selecionando-as de acordo com o grau de repetitividade e aleatoriedade. Para isso cria um esquema que reconhece os padrões gerados por ele e as imprevisibilidades emergentes do seu comportamento.	Sistemas norteados por atratores estranhos	-----	-----	O sistema aprende. Por isso identifica, por meio do levantamento dos subsistemas estáveis e instáveis as condições internas intermediárias. Ele busca identificar se o sistema está operando em equilíbrio dinâmico.	Nesse nível o sistema possui como mecanismos de controle interno as restrições internas, o controle legal e os mecanismos do ambiente externo.	Nesse nível o sistema é capaz de ação, reflexão e reação, por isso percebe a importância de incorporar ao seu funcionamento os relacionamentos e as interferências do ambiente externo. As iniciativas usadas para intervir nessa escala são: a cooperação e a autonomia. O sistema busca interação.

Quadro 24: Diagnóstico de nível de evolução do sistema complexo(continua...)

Análogos aos sistemas mal-adaptativos	Sistemas abertos	Média cooperação	(6) Estrutura capaz de armazenar informações	A estrutura funcional incorpora um subsistema para armazenar informações relativas a seu funcionamento ao longo do tempo. Nesse nível o sistema possui uma hierarquia de poder formalizada, mas possui táticas informais de reduzir esta hierarquia formal.	A percepção da necessidade de armazenar informações vem do aumento da variedade interna e da conseqüente necessidade de seleção de alternativas para tomada de decisão. Com a formalização de um subsistema destinado a captação de informações, o conhecimento fica mais acessível e disponível a todos os integrantes do sistema.	Nesse nível, o sistema inicia um processo estruturado de reconhecimento dos fatos regulares e dos fatos aleatórios no decorrer do funcionamento do sistema. O objetivo é a partir dessa estruturação criar esquemas que facilitem a tomada de decisão no âmbito do processo dinâmico variação-seleção.	Sistemas norteados por atratores estranhos.	-----	-----	O sistema reconhece que opera numa situação de equilíbrio dinâmico entre ordem e caos. Ele busca identificar os subsistemas estáveis e os subsistemas instáveis, os períodos de estabilidade e os períodos de instabilidade.	Os mecanismos de controle interno são: as restrições internas, limitações do próprio sistema (recursos, energia, percepção do observador, etc), sendo afetado pelo controle legal, que é exercido pela poder hierárquico do sistema e pelos mecanismos do ambiente.	Nesse nível, o sistema por não possuir uma memória reconhece a importância das conexões com o ambiente externo para se adaptar ao ambiente e evoluir. Para intervir nessa escala é usada a estratégia de integração, mas com baixo nível de confiança entre os relacionamentos, as ligações são fracas.
			(5) Estrutura com especialização de funções	A estrutura é composta por partes muito diferenciadas que executam funções específicas, têm consciência que dependem do desempenho das outras partes para funcionarem com eficiência, apesar disso possuem estrutura hierárquica com padrões bem estabelecidos e seguidos.	Aumenta a variedade no interior do sistema, ao mesmo tempo em que adquire mais mecanismos para captar as perturbações vindas do ambiente e tenta se ajustar a elas. O ajuste é lento e há uma criteriosa seleção das informações que podem ser disseminadas pelo sistema todo.	Nesse nível o sistema é capaz de perceber que a variação de sua organização interna pode gerar novas estruturas. As novas estruturas criadas devem ser analisadas e dependendo da sua estabilidade para serem eliminadas ou preservadas. O sistema consegue distinguir padrões de regularidade de acontecimentos aleatórios.	-----	Sistemas norteados por atratores periódicos	-----	Nesse nível o sistema tem consciência de que possui uma estrutura composta de comportamentos imprevisíveis e padronizados e que é necessário saber lidar com essa dinâmica.	Os mecanismos de controle interno são: as restrições internas, limitações do próprio sistema (recursos, energia, percepção do observador, etc), sendo afetado pelo controle legal, que é exercido pela poder hierárquico do sistema.	O sistema possui uma visão limitada de sua atuação, buscando se integrar ao contexto, passando a perceber a importância da integração a outros sistemas. A intervenção nessa escala é mais evidente aos relacionamentos internos ao sistema, mas já apresenta relacionamentos externos formalizados.

Quadro 24: Diagnóstico de nível de evolução do sistema complexo(continua....)

	(4) Estrutura aberta	A estrutura possui uma hierarquia forte, percebendo a necessidade dos recursos e informações do ambiente externo para sobreviver.	Nesse nível a preocupação se concentra em captar informações externas, porque o sistema percebe a importância de interagir com o ambiente. Algumas informações são resguardadas para o nível estratégico e outras são disseminadas pelo resto do sistema.	O sistema capta e reconhece regularidades no ambiente. Nesse nível, o sistema possui funções e atividades muito específicas e diferenciadas internamente, as quais percebem a necessidade da organização interna se ajustar as mudanças do ambiente externo.	-----	Sistemas norteados por atratores periódicos.	-----	Nesse nível o sistema começa a perceber a importância do equilíbrio dinâmico entre a organização interna do sistema e as interferências das mudanças externas para a evolução do sistema. O sistema passa a reconhecer a impossibilidade de eliminar toda desordem vinda do ambiente externo.	Nesse nível os mecanismos de controle interno são as restrições internas ao sistema e o controle legal.	Nesse nível o sistema passa a se preocupar em agregar componentes do ambiente externo a sua estrutura como forma de diferenciação. A integração dentro do sistema é deficiente, existindo muita competitividade interna e externa.
Análogos aos sistemas não-adaptativos Sistemas fechados Baixa cooperação	(3) Estrutura controlável	A estrutura interna é fortemente hierarquizada, mas apresenta um grau de flexibilidade maior que os níveis 1 e 2. Seus subsistemas captam regularidades no comportamento do sistema que norteiam seus próximos comportamentos.	O sistema é capaz de avaliar, transmitir e interpretar a informação. Nesse nível os sistemas selecionam as informações que devem se manter no nível estratégico e as informações que podem ser disseminadas no restante do sistema.	O sistema não é capaz de reconhecer as regularidades e as aleatoriedades do ambiente. Ele consegue perceber a variedade interna de funções e atividades e usar a seleção para tornar o sistema mais estável.	-----	-----	Sistemas norteados por atratores de ponto fixo.	Nesse nível o sistema busca a ordem, acredita que eliminando a desordem pode controlar totalmente o sistema e encontrar a unidade.	O sistema possui como mecanismo de controle interno, as restrições internas, que nesse caso é a busca da ordem e do controle total do sistema.	O sistema está muito voltado para seu interior e suas conexões com outros sistemas e com o ambiente é de auto-defesa. A integração se limita a subsistemas específicos. Eles estão voltados a competitividade.

Quadro 24: Diagnóstico de nível de evolução do sistema complexo (continua.....)

	(2) Estrutura dinâmica	A estrutura interna é segmentada, com funções e atividades bem definidas e hierarquizadas. O sistema apresenta comportamento estável e uma identidade imutável.	O sistema capta informações do ambiente, mas elas são concentradas no nível estratégico, não havendo disseminação para os demais níveis.	O sistema não é capaz de reconhecer as regularidades e as aleatoriedades do ambiente. Ele não possui capacidade de memória e, por isso não possui registro de sua trajetória. Por apresentar funções específicas e atividades bem definidas gera e identifica a variação dentro do sistema, selecionando as partes mais estáveis.	-----	-----	Sistemas norteados por atratores de ponto fixo.	Nesse nível o sistema produz imprevisibilidade e padrões ao funcionar e interagir, mas não reconhece esta condição interna intermediária.	O sistema possui como mecanismo de controle interno, as restrições internas. A restrição é a falta de uso da capacidade de memória e, por consequência, falta de registros de sua história.	Nesse nível o sistema está muito voltado para seu interior e suas conexões com outras sistemas e com o ambiente é de auto-defesa. A integração se limita a subsistemas específicos. Eles estão voltados a competitividade.
	(1) Estrutura inflexível	Estrutura hierárquica interna é muito forte e inflexível. As funções e as atividades são extremamente definidas, não havendo rotatividade na sua execução. Em geral são sistemas que funcionam isolados do contexto.	As informações se concentram no nível estratégico da gestão do sistema	O sistema não reconhece regularidades e nem as aleatoriedades do ambiente. Ele não usa a capacidade de memória e, por isso não possui registros de sua trajetória. Se considera estável todo o tempo. Isso acontece porque ele não percebe a necessidade de se ajustar às variações do ambiente.	-----	-----	Sistemas norteados por atratores de ponto fixo.	Nesse nível o sistema é mais previsível. Acredita ser estável, permanecendo fechado às mudanças do ambiente externo.	Como nesse nível o sistema se considera estável e possui uma estrutura hierárquica muito forte. As restrições internas são os principais mecanismos de controle do sistema.	O sistema está muito voltado para seu interior e suas conexões com outras sistemas e com o ambiente é de auto-defesa. A integração se limita a subsistemas específicos. Eles estão voltados a competitividade.

Quadro 24: Diagnóstico de nível de evolução do sistema complexo(...Conclusão)

- a) Quantidade de informações captada pelo sistema e relevantes para sua atuação;
- b) Quantidade de conhecimento gerado pelo sistema;
- c) O conhecimento está disponível a muitos, no sistema, ou está centralizado em alguns componentes?

Para mensurar a quantidade de informação captada pelo sistema, buscam-se documentos que estabeleçam uma memória das estratégias e táticas que foram e são empregadas pelo sistema para se manter atualizado com as mudanças do ambiente. Esse fato leva à geração de conhecimento interno, que possibilita o auto-ajuste da organização do sistema em função das eventuais perturbações externas. É preciso, identificar os meios empregados para distribuir as informações. Para isso, usam-se entrevistas semi-estruturadas para investigar em que nível hierárquico se concentram as informações, se existe cooperação no compartilhamento das informações ou excesso de controle e competitividade no domínio delas. A partir disso, pode-se notar se o processamento das informações leva a um nível mais alto ou mais baixo de evolução em complexidade do sistema. No apêndice A, apresenta-se um roteiro de entrevista usada para o caso específico da validação dessa modelagem.

3. **Reconhecer e compreender as regularidades e as aleatoriedades do sistema:** caracteriza-se o comportamento da estrutura do sistema no tempo, ou seja, o período de tempo em que o sistema se mantém estável, instável ou em transição. O sistema não muda todo o tempo, existe alguma forma de inércia que limita a mudança (HEYLIGHEN, 1988). Isso pode ser conseguido observando-se a dinâmica **variação-seleção** que dá **identidade** ao sistema. A variação cria novas estruturas, e a seleção serve para eliminar as estruturas instáveis. A partir dessas considerações, pode-se identificar o grau de autonomia do sistema, indicado por sua estabilidade interna e sua capacidade de resistir a perturbações externas.
4. **Identificar o esquema dominante:** pode ser obtido observando-se a filosofia de funcionamento do sistema: os princípios, as crenças, as regras (formais e informais), usadas para a gestão do sistema. O esquema dominante conduz a uma bacia de atração específica. Um atrator é um fato, uma crença, um acontecimento que norteia todo o comportamento de um sistema. Apresenta-se uma discussão detalhada sobre atrator no Capítulo 2, seção 2.3.2.4 e no Capítulo 3, seção 3.3.1.2.1.

5. **Determinar as condições internas intermediárias (ordem-desordem):** o grau de ordem em que o sistema opera pode ser percebido observando-se a simetria da estrutura, ou seja, sua invariância, que tem como principal característica a previsibilidade no tempo e no espaço. Já a desordem é caracterizada pela ausência de invariância, pela presença de transformações que apresentam diferentes efeitos no sistema. Nem a ordem global, nem a desordem global são objetos de estudo da complexidade; para ser complexo, o sistema precisa ser caracterizado por uma certa mistura de ordem e desordem. Para captar essa simetria parcial, analisam-se as interações entre os subsistemas do sistema, verificando-se seu grau de integração e invariância; por outro lado, a variação e diferenciação entre os subsistemas do sistema. Resumidamente tem-se:

Ordem-desordem do sistema	
Ordem	Desordem
Subsistemas estáveis	Subsistemas instáveis
- Período da estabilidade - Seleção	- Período da instabilidade - Surgimento de novos subsistemas, mantê-los ou não?

Quadro 25: Identificação do equilíbrio do sistema

O Quadro 25 estabelece uma segmentação entre a ordem e a desordem. O objetivo é identificar se o sistema opera considerando a complexidade, convivendo com períodos de real estabilidade e de instabilidade. Esse processo possibilita a evolução em níveis de complexidade, pela aprendizagem e adaptação.

6. **Levantar os mecanismos de controle interno do sistema:** todos os sistemas sofrem algum tipo de controle interno e externo. Uma das formas de controlar um sistema complexo pode ser o **mútuo monitoramento**. Este pode ser representado pela recompensa positiva, devido à obediência às regras e ao castigo pela desobediência. As **restrições internas** são outra forma de controle do sistema, que passa a ser regido pelas limitações impostas pela restrição. O **controle legal** formado por situações criadas fora do âmbito do sistema, mas que interferem no funcionamento, como normas criadas para determinados tipos de sistemas que limitam sua atuação. O **mecanismo de ambiente** regula todos os sistemas (AXELROD,1984; CAMPBELL, 1982; HEYLIGHEN e CAMPBELL,1995).
7. **Escala de análise para a qual o sistema direciona sua atenção:** a escala de análise está diretamente relacionada à consciência que o sistema possui da sua aptidão no ambiente. A aptidão pode ser medida pela quantidade de inter-relações que o sistema possui com outros sistemas e com o ambiente.

O objetivo dessa fase é diagnosticar em que nível de evolução em complexidade o sistema se enquadra. No caso de se tratar com mais de um sistema, observar se apresentam níveis diferentes de evolução; em caso positivo, verificar a necessidade de torná-los compatíveis.

5.1.3 FASE 3: TORNAR OS NÍVEIS DE EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS COMPATÍVEIS

Essa fase pode existir ou não. Ela existe quando se avalia dois ou mais sistemas ao mesmo tempo com o objetivo de gerenciá-los integradamente. Nesse caso, se os sistemas apresentam níveis de evolução muito diferentes, o ideal é torná-los compatíveis, considerando o sistema de mais alto nível de complexidade. Por exemplo, considerando cada sistema uma empresa individual, denominada A, B e C e supondo que A esteja no nível de evolução 1; B esteja no nível de evolução 4; C esteja no nível de evolução 9. Isso significa que, em cada sistema, as condições iniciais podem ser muito diferentes em decorrência de cada nível possuir estrutura, capacidade de organização interna e adaptação às perturbações externas compatíveis com o nível de evolução da complexidade a que pertencem. Esse fato pode dificultar ou, até mesmo, impossibilitar a continuidade da modelagem integrada.

Em outras palavras, quando se trata com mais de um sistema de maneira integrada e esses sistemas estão em níveis de evolução em complexidade diferentes e precisam ser compatibilizados para continuar a modelagem, devem-se seguir algumas etapas:

Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades dos sistemas analisados

Apesar dos sistemas apresentarem níveis diferentes de evolução, podem possuir sinergia ao trabalho conjunto, como também podem possuir total incompatibilidade para o funcionamento conjunto, ou ainda necessitar de ajustes para funcionarem em conjunto. Por isso, é importante levantar as compatibilidades e as incompatibilidades que os sistemas com níveis de evolução em complexidade diferentes apresentam.

Etapa 2: Reunião com os agentes envolvidos no processo

Conversar com os agentes de cada sistema, em particular, depois, em conjunto, e explicar as incompatibilidades entre os sistemas analisados. A partir disso, observar a opinião deles sobre a situação exposta (sistemas em níveis diferentes de complexidade), no caso de decidirem por permanecerem no nível de complexidade que estão, sem nenhuma alteração, a modelagem não poderá ter continuidade; se concluírem pela elevação do grau de complexidade dos sistemas, então continuam no processo e participam da modelagem integrada. No caso, de ser decidido pelo ajuste nos níveis de complexidade dos sistemas, segue-se para a etapa 3.

Etapa 3: Demarcação dos pontos onde haverá mudança

Revisar as características de cada sistema, mostrando os pontos onde há necessidade de mudança, de modo a ajustá-los de acordo com as características que os tornam pouco adaptativos. A partir das alterações realizadas, nos pontos onde o sistema possui características que o enquadra num nível baixo de complexidade, é possível nivelar o sistema em relação aos outros que estão sendo modelados em paralelo a ele. Ressalta-se, que, nessa etapa os agentes envolvidos já decidiram proceder às mudanças na etapa 2, a demarcação dos pontos é uma etapa que facilita e agiliza esse processo.

Etapa 4: Desenvolvimento de medidas para elevar os níveis de complexidade mais baixos

A partir do reconhecimento de que existem incompatibilidades entre os sistemas que estão sendo analisados juntos e da demarcação dos pontos onde haverá mudança, é necessário desenvolver medidas que possibilitem alcançar o nível 9 de complexidade, que nesta modelagem representa o nível mais alto em complexidade.

Ressalta-se que, os sistemas tratados pela modelagem proposta estão dentro do mesmo grupo de sistemas complexos, os sociais. O estabelecimento de níveis de evolução em complexidade e a percepção dos diferentes níveis de evolução que esses sistemas apresentam, refere-se as características, capacidades e propriedades diferentes que eles podem exibir e, por isso, expressar incompatibilidades na gestão conjunta.

O objetivo dessa fase é compatibilizar, se necessário, os níveis de evolução dos sistemas estudados, para a partir da equibração, localizá-lo numa escala espaço-temporal.

5.1.4 FASE 4: LOCALIZAÇÃO ESPAÇO -TEMPORAL DO SISTEMA

Inicialmente, para criar uma arquitetura de suporte ao sistema, é preciso situá-lo numa escala espaço-temporal. A escala espaço-temporal é definida pela posição que assume o sistema no ambiente (dimensão espaço) e pelo estágio do ciclo de vida em que ele está enquadrado em determinado período de tempo (dimensão tempo). A partir da determinação das dimensões espaço e tempo, descreve-se uma terceira dimensão, representada pelo *status* que o sistema assume. O *status* é delineado pelos seguintes conceitos: *fitness landscape*, pressões seletivas, atrator, bacias de atração, escala de observação e trajetória. Na seqüência, a Figura 18 ilustra as dimensões espaço, tempo e *status* que identificam a localização espaço-temporal do sistema.

A Figura 18 apresenta a localização do sistema considerando uma escala espaço-temporal. No eixo tempo, utiliza-se como indicador o ciclo de vida do sistema, para expressar em que estágio de desenvolvimento ele está. No eixo espaço, utiliza-se como indicador as posições que o sistema ocupa no ambiente externo. Dependendo da posição ocupada por ele nessas duas dimensões, caracteriza-se uma terceira dimensão denominada *status* do sistema.

Nota-se, observando a Figura 18, que a percepção do observador, as mudanças no ambiente externo e as pressões seletivas externas influenciam o *status* do sistema, pois as trajetórias assumidas pelos sistemas refletem o modo como eles interagem com o ambiente e se ajustam a este. Os atratores seguidos, as bacias de atração em que se fixam, seus *fitness landscapes* e as pressões seletivas internas indicam o tipo de comportamento que o sistema possui em determinado ambiente. A Figura 18 busca demonstrar que o *status* que o sistema assume é influenciado tanto por fatores externos como por fatores internos, além disso as trajetórias seguidas são reflexos do cruzamento entre a posição no espaço e a posição no tempo na qual o sistema se enquadra em determinado momento do tempo.

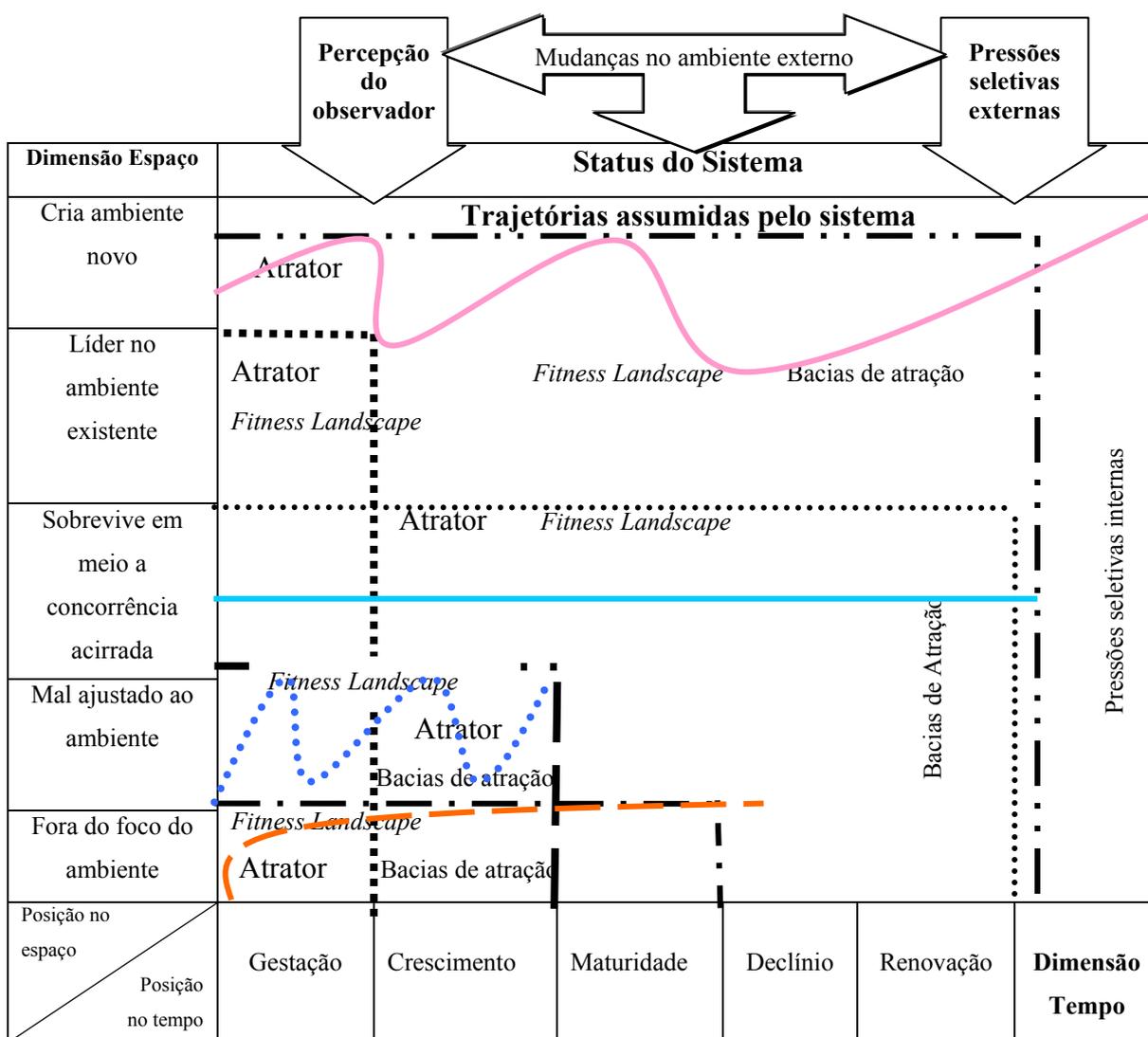


Figura 18. Escala espaço-temporal do sistema

Etapa 1: Localização temporal do sistema

No eixo tempo, consideram-se os períodos: gestação, crescimento, maturidade, declínio e renovação. O período de **gestação** corresponde aos primeiros anos do sistema no ambiente. Nesse período, o sistema tenta se estabelecer, podendo obter sucesso ou não. O **crescimento** é o período em que o sistema estabelecido se expande, num processo ascendente e contínuo. A **maturidade** é um período de estabilidade, em que o sistema conquista o equilíbrio na organização interna e é capaz de perceber as perturbações externas e se ajustar a elas. O **declínio** é o período em que o sistema perde a capacidade de se ajustar internamente para se adaptar ao ambiente. A **renovação** é o período em que o sistema percebe que está em declínio e se reorganiza internamente para captar as mudanças do ambiente e ajustar-se a elas.

Os sistemas não são obrigados a passar por todos esses estágios. O declínio, por exemplo, é um período que pode não ocorrer e, por conseguinte, a renovação não ser necessária. Além disso, os sistemas podem estar cronologicamente no período correspondente à maturidade e não apresentar as capacidades, que, supostamente, se atribuem a esse período.

Etapa 2: Localização espacial do sistema

No eixo espaço, consideram-se as seguintes posições no ambiente: fora do foco, mal-ajustado, sobrevive em meio à concorrência acirrada, líder do ambiente e cria um novo ambiente. A posição **fora de foco** corresponde aos sistemas que estão funcionando em desacordo com o ambiente. Por exemplo, no caso de uma empresa, referem-se àquelas que produzem bens ou serviços obsoletos e, portanto, desnecessários ao mercado a que pertencem. A posição “**mal-ajustado**” se relaciona aos sistemas que estão cumprindo as exigências do ambiente, mas não estão percebendo as mudanças para a elas ajustar-se. A posição **sobrevive em meio à concorrência acirrada** diz respeito aos sistemas que atendem às necessidades do ambiente, percebem as mudanças e se ajustam a elas, mas convive com grande concorrência e competitividade. A posição **líder** corresponde aos sistemas em situação privilegiada, que são seguidos por outros sistemas e estão em constante busca por mudanças no ambiente para adequar-se a elas. A posição **cria ambiente novo** refere-se aos sistemas inovadores, que quebram regras e se estabelecem criando mercado próprio.

Do cruzamento entre o eixo do espaço com o eixo do tempo, obtém-se o **status** do sistema. Em outras palavras, dependendo da posição no espaço e do momento no tempo em que cada sistema está, seu espaço de possibilidades pode ser maior ou menor. Isso significa que, se um sistema se encontra, por exemplo, situado no eixo espaço, na posição fora de foco do ambiente, mas no eixo tempo, está no ponto maturidade, o sistema possui mecanismos internos e atratores de equilíbrio que favorecem a sua trajetória e lhe conferem um espaço de possibilidades favorável, apesar da posição no espaço indicar o contrário. Localizadas dentro do espaço de possibilidades, estão os atratores e as bacias de atração, que levam o sistema a se fixar num determinado ponto. As pressões seletivas, associadas à percepção do observador, influenciam a posição do sistema no ambiente, e todos esses componentes juntos (*fitness landscape*, atratores, bacia de atração, pressões seletivas e capacidade de percepção do observador) colaboram para a determinação da trajetória assumida pelo sistema, além de atuarem como fatores determinantes para o comportamento exibido pelo sistema. Isto pode

ser observado nas linhas coloridas da Figura 18. Elas podem assumir vários formatos, dependendo das características do ambiente.

Etapa 3: Identificação do *status* do sistema a partir de alguns conceitos-chave

Espaço de Possibilidades (*Fitness Landscape*): é um termo da Biologia traduzido como cenário de aptidão, paisagem de adaptabilidade ou espaço de possibilidades. A aptidão de um sistema é dada pela capacidade de se manter em evolução num cenário variado e de permanente mudança.

Pressões Seletivas: são condições impostas pelo ambiente interno e/ou externo ao sistema que podem favorecê-lo, num determinado momento, em detrimento de outro sistema ou vice-versa. Dessa forma, afetam positiva ou negativamente a competição entre as diferentes organizações dos sistemas envolvidos.

Atrator: é um objeto ou uma situação que norteia o equilíbrio do sistema. Os atratores podem ser: punctiformes, periódicos e estranhos. Os punctiformes são norteados por pontos fixos localizados no centro do espaço de fase (os estados possíveis que podem assumir um sistema), o qual atrai a trajetória do sistema. Os periódicos possuem oscilações periódicas e regulares, seguindo uma trajetória conhecida e determinada. Os estranhos possuem comportamentos imprevisíveis, gerando padrões que nunca se repetem.

Bacia de atração: é a posição na qual o sistema se fixa. Ela está relacionada à posição em que o sistema ocupa no cenário de aptidão. Nem sempre a bacia para a qual o sistema é atraído é a melhor alternativa para o sistema. Dependendo da posição e da percepção do observador, a posição assumida pode não representar a melhor alternativa. Por isso, o cenário deve ser explorado à procura de bacias de atração mais profundas, mesmo que o sistema esteja num ponto considerado aceitável.

Escala de observação: ponto de onde o observador visualiza e interfere no sistema. Vários fatores associados ao observador influenciam a decisão pela escala de observação assumida: percepção, interesse, capacidade do observador, valores e crenças. As habilidades do observador são fundamentais para a percepção das mudanças que ocorrem, constantemente, no cenário, ao qual pertence o sistema.

Trajectoria: espaço no qual é exibido o comportamento do sistema. Diante das pressões seletivas e do cenário de aptidão, o sistema desenvolve um comportamento numa escala espaço-temporal. Esse comportamento é influenciado pela memória que ele mantém do passado, dos atratores aos quais se reporta para buscar o estado de equilíbrio e da capacidade que possui para reconhecer e acessar os mecanismos internos. Através desses mecanismos, captar as informações externas e se ajustar às perturbações externas, sem, necessariamente, se desorganizar internamente.

Esses conceitos estão representados na Figura 18.

Essa fase e suas etapas têm o objetivo de situar o sistema no tempo e no espaço para, a partir desse ponto, construir uma arquitetura adequada às condições iniciais do sistema.

5.1.5 FASE 5: CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA PARA O SISTEMA

A arquitetura é a base da modelagem. Ela é construída a partir da definição da estrutura estática que lhe dará sustentação.

Etapa 1: Determinação dos componentes da estrutura do sistema

Para determinar a estrutura de funcionamento do sistema complexo, propõe-se a abordagem desenvolvida por Simon (1969), na qual os sistemas complexos possuem estruturas quase decomponíveis. Essa abordagem assume que a complexidade evolui em níveis hierárquicos, não no sentido do controle hierárquico (*top-down*), mas no sentido de um nível englobar o outro numa escala ascendente e recursiva, na qual os níveis se associam e são flexíveis, ao mesmo tempo. Esse processo facilita a evolução do sistema por oferecer condições iniciais no nível elementar, formas intermediárias estáveis e fronteiras, no nível superior.

A escolha da abordagem de Simon (1969), para a elaboração da arquitetura da modelagem proposta, deve-se a confiabilidade e a robustez que os estudos do referido autor possui no ambiente acadêmico, sendo referência para a maioria dos pesquisadores que o sucederam nas investigações sobre as configurações assumidas pelos sistemas complexos no processo de evolução. Outro motivo que influenciou a seleção dessa abordagem foi a

adequação dos conceitos de estruturas quase decomponíveis e recursivas aos propósitos dos sistemas complexos, bem como a necessidade de se estabelecer uma arquitetura para que os sistemas complexos possam exibir sua organização, evoluindo para níveis mais altos de complexidade.

Ressalta-se que os sistemas podem ser estudados em diferentes níveis e graus de intervenção. Analisando-se a natureza, do ponto de vista dos sistemas, pode-se perceber que se vive em meio a um emaranhado de sistemas que se sobrepõem e entrecortam. Existem o sistema ecológico, o sistema biológico, o sistema humano e o sistema social, cada um composto de vários subsistemas. Eles evoluem em escalas espaço-temporais diferentes, ao mesmo tempo em que recebem influências uns dos outros.

Nessa modelagem, trabalha-se com o grupo dos sistemas sociais, os quais são formados por entidades capazes de comunicação e interação (HOLLING, 2001). Sua sobrevivência está associada à capacidade de captar recursos do ambiente e de manter sua organização interna estável, de forma a se adaptar às mudanças externas e às mudanças na sua própria estrutura física e organizacional. Também são capazes de perceber o momento em que precisam alterar o padrão de comportamento e passar para um novo nível de evolução da complexidade. Os sistemas sociais são compostos por vários subsistemas, dentre eles está o subsistema organizacional, no qual estão enquadrados todos os tipos de empresas e seus respectivos arranjos empresariais. Os conceitos utilizados, nessa etapa, são:

Estrutura quase decomponível: a base da decomponibilidade de uma estrutura é uma flexível associação vertical e horizontal, respectivamente, entre níveis e subsistemas no sistema complexo. A quase decomponibilidade é um termo usado para expressar a impossibilidade de decompor totalmente um sistema complexo, pois sua existência está diretamente ligada à intensidade e variabilidade das interações.

Níveis de integração: de acordo com a percepção do observador e seus objetivos, o sistema será segmentado em níveis de integração, conforme o conceito de estrutura quase decomponível, no qual um nível dá suporte ao outro para criar uma estrutura interligada.

Interação entre as partes do sistema: dá o caráter dinâmico da modelagem. As interações podem ser constitutivas, agregativas, simétricas e assimétricas. As constitutivas já nascem unidas, como as células de um tecido; as agregativas são associadas pela necessidade; as simétricas são relacionamentos de um para um ou de muitos para muitos; as assimétricas são relacionamentos de um para muitos ou vice-versa.

Energia liberada pelas interações: as interações podem ter caráter competitivo e/ou cooperativo. O mapeamento das interações possibilita a identificação da energia liberada pelas interações.

Estrutura de intervenção para análise do sistema: vertical e horizontal. Na intervenção vertical, o sistema é segmentado em níveis de integração, nos quais as interações são analisadas. Na intervenção horizontal, são analisadas as interações nos subsistemas que cortam os níveis.

Ciclos adaptativos: todo sistema complexo passa por ciclos adaptativos (HOLLING, 2001), que perpassam os níveis do sistema e nem sempre são percebidos pelo observador. Um ciclo adaptativo agrega recursos e, periodicamente, reestrutura-se para criar oportunidades de inovação, sendo uma unidade fundamental para compreender a complexidade.

Análise cruzada: as análises vertical e horizontal são realizadas simultaneamente utilizando-se uma matriz de análise estrutural e as matrizes de impacto cruzado (MICMAC).

Representa-se a arquitetura da modelagem na Figura 19, a qual é desmembrada e discutida nos Quadros 26 e 27.

A Figura 19 apresenta a arquitetura de suporte na qual funcionará a dinâmica da modelagem. A arquitetura se compõe de duas partes fundamentais: uma estrutura vertical e uma estrutura horizontal. A estrutura vertical é formada de níveis recursivos e quase decomponíveis, a saber: **elementar, intermediário e superior**. O nível elementar oferece as condições iniciais que alimentam os níveis subsequentes, enquanto o nível superior fornece as fronteiras que delimitam a atividade dos níveis. A estrutura horizontal é constituída por subsistemas que compõem cada nível e são distribuídos, espacialmente, de acordo com a energia das interações que os atraem (cooperativa ou competitiva). O formato da estrutura horizontal é dado pelo rumo das interações, as influências entre elas e as intensidades. A partir das interações, procuram-se captar as ocorrências dos ciclos adaptativos ao longo da trajetória do sistema.

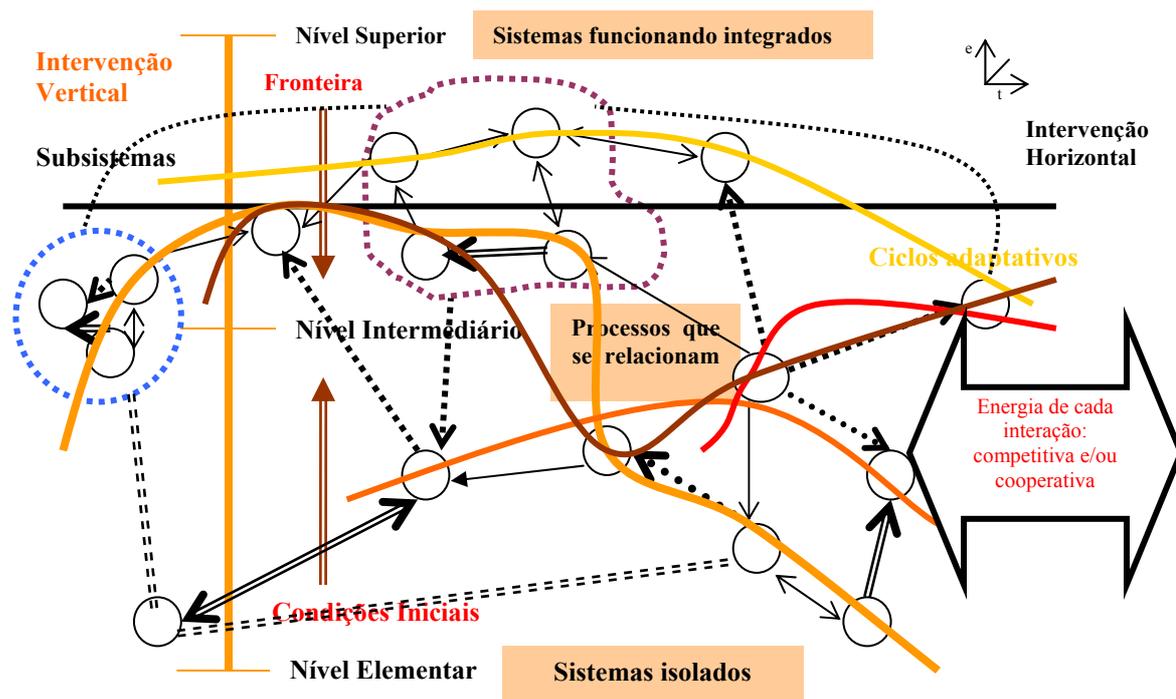
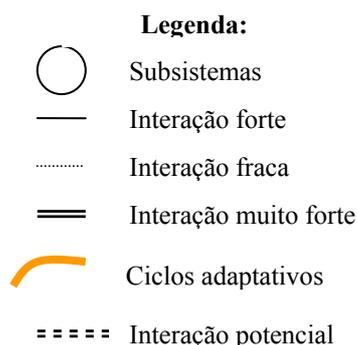


Figura 19. Representação da arquitetura do Sistema



Na seqüência, descreve-se a constituição das estruturas vertical e horizontal para melhor compreensão da arquitetura da modelagem.

O objetivo desta seção é descrever a constituição das estruturas do sistema para facilitar a incorporação da dinâmica à arquitetura da modelagem.

Etapa 2: Descrição da estrutura vertical do sistema

Nesta etapa, descreve-se a constituição da estrutura vertical do sistema, apresentada no Quadro 26.

Constituição da Estrutura Vertical				
Níveis de integração	Elementos	Interação	Formam.....	Atividade
Elementar Caracterizado por eventos de alta frequência. Ocorre em curtos e rápidos ciclos.	Sistemas Isolados	Dentro de cada nível : Interação constitutiva Entre cada nível : Interação agregativa Interações podem ser simétricas ou assimétricas	Condições iniciais para o sistema evoluir para o próximo nível	1. Comunica informações para os níveis subsequentes. 2. Armazena energia para suportar os próximos níveis.
Intermediário	Processos que se relacionam		Foco do sistema	
Superior Caracterizado por eventos de baixa frequência. Ocorre em longos e lentos ciclos	Sistemas funcionando integrados		Representam as fronteiras que delimitam o sistema	

Quadro 26: Constituição da estrutura vertical da arquitetura do sistema

A estrutura vertical possui como base de formação a divisão do sistema em níveis elementar, intermediário e superior, sendo sua descrição iniciada por eles. O nível elementar é caracterizado pela ocorrência de eventos de alta frequência, ou seja, estes ocorrem em curtos e rápidos ciclos, em decorrência da estrutura mais simples. O nível superior é caracterizado pela ocorrência de eventos de baixa frequência, ou seja, eles ocorrem em longos e lentos ciclos, porque sua estrutura, nesse nível, pode estar mais complexa e com mais interações. O nível intermediário recebe as influências do nível superior e inferior ao mesmo tempo. Os **elementos** que compõem cada nível são determinados de acordo com o tipo de sistema que está sendo modelado. No caso específico deste trabalho, o sistema modelado faz parte do grupo dos sistemas sociais (um sistema organizacional representado por uma cadeia de suprimentos). Sendo assim, os elementos do nível elementar são as empresas isoladas; do nível intermediário, os processos compartilhados entre as empresa; do nível superior, a cadeia de suprimentos.

A **interação** vem da integração dos elementos. Mesmo na estrutura vertical, pode-se perceber a formação das interações dentro dos próprios níveis, por meio da junção constitutiva, e entre os níveis, por meio da agregação dos elementos. Quando os elementos já surgem unidos, por algum tipo de interação, tem-se uma junção constitutiva; quando são agregados uns aos outros pela necessidade, tem-se a junção agregativa.

Os relacionamentos entre os níveis são assimétricos, envolvendo quantidades diferentes de elementos. Cada nível **forma** um degrau para o próximo nível; sendo assim, o nível elementar tem a função de fornecer as condições iniciais para o nível intermediário, que, por sua vez, subsidia o nível superior, dentro e entre os níveis, criam **atividades** de comunicação e de armazenagem de energia (cooperativa e/ou competitiva). São essas atividades que realimentam o sistema, renovando-o e conservando algumas partes.

Etapa 3: Descrição da estrutura horizontal do sistema

Nessa etapa, representa-se a constituição da estrutura horizontal do sistema, no Quadro 27.

Constituição da Estrutura Horizontal				
Subsistemas	Elementos	Interação	Podem Formar....	Atividade
De cada sistema individual (subsistema)	Subdivisões do sistema	Tipos de Interações Grau de importância das interações, atribuídos de acordo com geração de energia na transferência de informação e recursos.	Ciclos adaptativos 1. lentos e longos 2. rápidos e curtos 3. memes coletivos	Indica a tendência do sistema à auto-organização
Comuns ao funcionamento dos sistemas em conjunto	Processos			
Do conjunto dos sistemas	Subdivisões do sistema			

Quadro 27: Constituição da estrutura horizontal da arquitetura do sistema

No Quadro 27, descreve-se a composição da estrutura horizontal, que possui, como base de formação, os subsistemas. Os **subsistemas** entrecruzam os níveis da estrutura vertical, distribuídos espacialmente, e são determinados de acordo com o sistema que está sendo modelado. O sistema é dividido em subsistemas, cada um dos quais formado por muitos elementos em interação que fazem parte do subsistema e do sistema. Os subsistemas comuns e que colaboram com o funcionamento do sistema modelado são selecionados para atuarem em conjunto. Os **elementos** são as divisões instituídas dentro dos sistemas, em forma de tarefas, processos, etc. As **interações** são a essência da estrutura horizontal, sem as quais não haveria tal estrutura. Nos subsistemas, as interações são avaliadas conforme o grau de importância, a intensidade (muito forte, forte, fraca e potencial), de acordo com as influências e a energia que elas geram nas transferências de informações e recursos. Os relacionamentos

entre os subsistemas podem ser simétricos ou assimétricos, envolvendo as mesmas quantidades de elementos ou diferentes quantidades.

Já o comportamento dos subsistemas **forma** ciclos adaptativos. Eles são percebidos por meio da observação dos períodos em que o sistema permanece estável, preservando-se alguns padrões, enquanto outros são alterados. Esses ciclos podem ocorrer em períodos curtos; ser rápidos, muitas vezes não sendo notados, ou podem ocorrer em períodos longos e ser lentos, sendo necessário muito tempo para serem percebidos. Os ciclos adaptativos transmitem informações, idéias, padrões (*memes*) que podem passar de um único subsistema para um sistema inteiro e gerar um ciclo de reconhecimento de padrões. Isso pode gerar um sistema inteligente de aperfeiçoamento contínuo. Contribuem para a formação desses ciclos a variação existente no sistema, que tende a criar novas estruturas, enquanto a seleção elimina as estruturas instáveis. Os elementos em interação, dentro e entre os subsistemas, criam **atividades** que indicam a capacidade do sistema à auto-organização. São essas atividades que realimentam o sistema, renovando-o e conservando algumas partes.

Essa fase estabeleceu a arquitetura estática na qual o sistema terá suporte para funcionar e se transformar.

5.1.6 FASE 6: DEFINIR A DINÂMICA PARA A ARQUITETURA DO SISTEMA

Construída a arquitetura do sistema, passa-se a identificação da dinâmica de transformações e interações que ocorrem no decorrer do funcionamento do sistema.

O objetivo dessa fase é mostrar como associar os conceitos da intervenção horizontal, representada pelas interações entre os subsistemas, com os conceitos da intervenção vertical, configurada pelos níveis que delimitam o sistema. Isso é necessário para compreender as intensidades e as influências das interações e entender como surgem, mantêm-se e evoluem os ciclos adaptativos. Dessa compreensão, podem-se identificar os pontos em que o sistema está apto à mudança e os pontos onde se encontra vulnerável e sujeito à extinção, e dessa forma intervir de maneira mais previsível.

Para articular o funcionamento dinâmico do sistema, sugerem-se algumas etapas:

Etapa 1: Estabelecimento da percepção do observador

O sistema é modelado em função das percepções e objetivos do observador em determinado momento. Nessa modelagem, o observador compreende o sistema como complexo, com capacidade de adaptação, considerando que ele possui duas ou mais partes diferentes que interagem entre si com o ambiente externo, possui comportamento imprevisível e, por isso, o comportamento do sistema é difícil de ser previsto com certeza.

O objetivo é modelar o sistema, considerando-o como um sistema complexo adaptativo. A percepção do observador é de que o sistema apresenta um nível de evolução em complexidade, situado num intervalo de 1 a 9, como apresentado na fase 5.1.2; está evoluindo e possui uma localização numa escala espaço-temporal, como apresentado na fase 5.1.4; apresenta uma arquitetura, cuja estrutura obedece aos preceitos do conceito de quase decomponibilidade, de Simon (1969), como apresentado na fase 5.1.5. Por fim, apresenta uma dinâmica de funcionamento que combina as fases descritas.

Na construção da dinâmica da modelagem, o observador desenvolve um esquema para captar os resultados gerados pelo sistema, por meio de três dimensões de análise: arquitetura da modelagem, energia das interações e auto-organização. O sistema modelado é influenciado pelo observador, pelo ambiente e pela própria dinâmica do sistema. Para ilustrar, apresenta-se a Figura 20.

A Figura 20 representa as influências que a dinâmica do sistema recebe durante a modelagem. A visão do observador, as mudanças no ambiente externo e o efeito recursivo do próprio processo dinâmico do sistema são aspectos que interferem na construção da modelagem e fazem com que o mesmo sistema, hipoteticamente com os mesmos problemas, seja modelado de maneiras diferentes e alcance resultados diferentes.

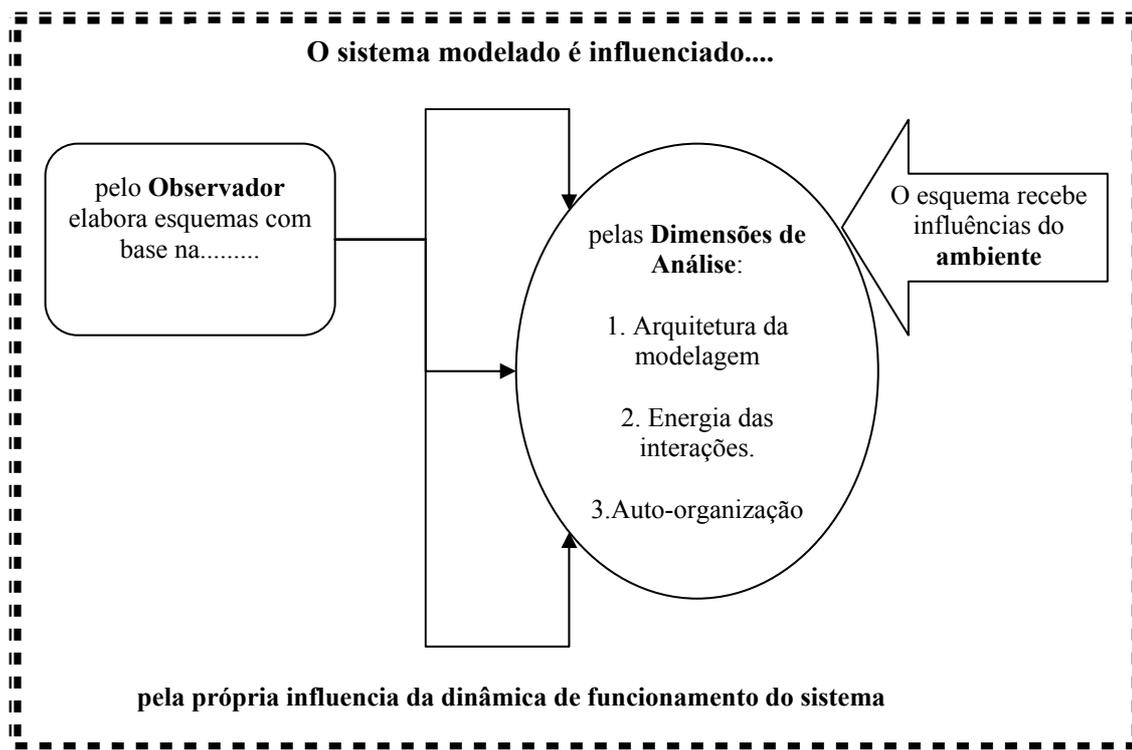


Figura 20. Influências recebidas pela dinâmica do sistema

Etapa 2: Determinação dos elementos do sistema

Na modelagem do sistema complexo, apontam-se os elementos básicos (duas ou mais partes diferentes) e a forma como eles se organizam para gerar movimento, ação, transformação, evolução e dinâmica à arquitetura proposta:

- a) Partes distintas;
- b) Partes conectadas;
- c) Nós;
- d) Conjunto de nós forma uma rede;
- e) Rede interligada por flechas e ciclos (arcos);
- f) Estrutura integrada.

Esses elementos são representados na Figura 21 e discutidos na seqüência.

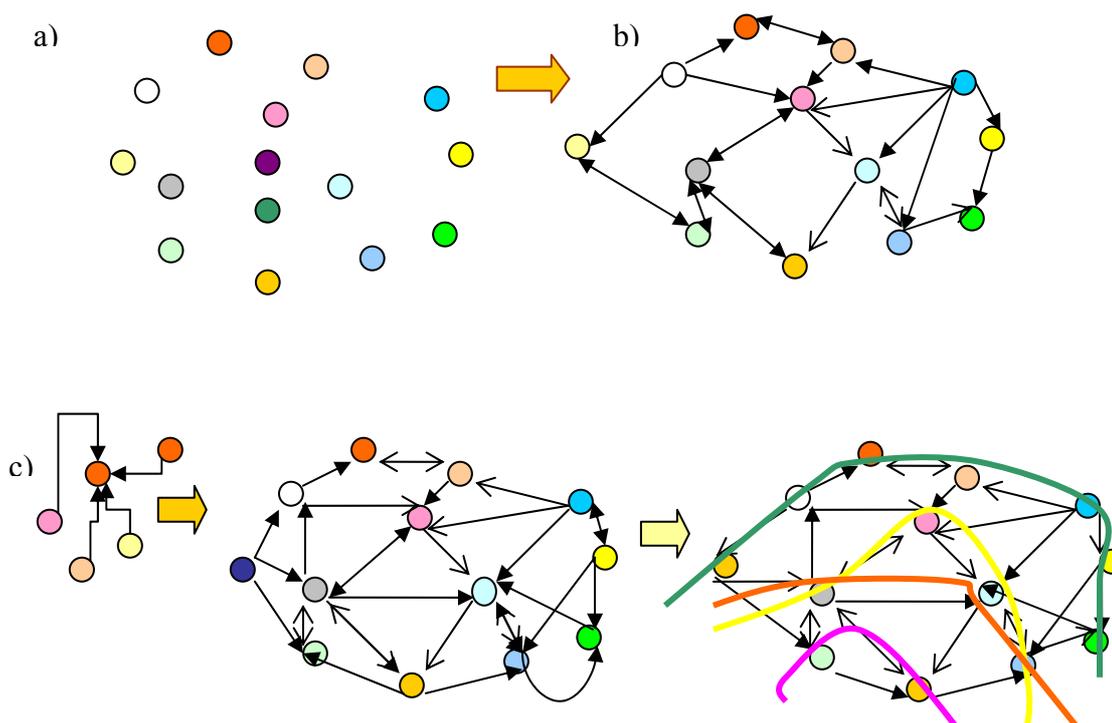


Figura 21: Representação dos elementos da dinâmica do sistema

Apresenta-se, na Figura 21, a seqüência básica que identifica um sistema complexo. Inicialmente, os vários e diferentes elementos estão dispersos item (a); depois, eles começam a criar conexões por meio das interações (b); em seguida, alguns elementos concentram nós de interações, expressando sua importância no sistema (c); esses nós se propagam no sistema, formando redes que exibem dificuldade de separação (d); dessas interações, emergem padrões de comportamento estáveis, que podem ser identificados no sistema pelos ciclos adaptativos (e,f); a distribuição desses elementos ocorre numa escala espaço-temporal, como apresentada na fase 4, seção 5.1.4 e dentro de uma arquitetura estruturada em níveis recursivos quase decomponíveis, quando analisado no sentido vertical; e estruturada pela emergência de ciclos adaptativos, no sentido horizontal, conforme fase 5, seção 5.1.5.

Etapa 3: Dar articulação aos elementos do sistema

Nessa etapa, o observador já conhece os elementos básicos do sistema modelado, fato que permite perceber que sua dinâmica é gerada pelas seguintes ações:

- a) evolução em complexidade do sistema, fase 2, seção 5.1.2;
- b) localização espaço-temporal, fase 4, seção 5.1.4;

- c) interações do sistema na arquitetura proposta, fase 5, seção 5.1.5;
- d) auto-organização
- e) atualização das regras

O sistema complexo evolui em níveis. As interações são a essência da dinâmica do sistema. Elas dão forma à estrutura horizontal. A evolução é um processo contínuo de transformação. A localização espaço-temporal possibilita estabelecer o panorama do sistema no ambiente em que opera. A auto-organização estabelece novas estruturas pela variação e elimina as estruturas instáveis pela seleção. Por meio da interação, evolução, variação e seleção, as regras do sistema vão sendo atualizadas constantemente.

Essas ações possibilitam, também, uma constante articulação entre os elementos da dinâmica do sistema complexo, sendo uma etapa para transformar uma estrutura estática (Figura 19) em estrutura dinâmica. Para isso, é necessário atribuir alguns **pressupostos** a modelagem:

- 1) **O sistema sofre transformações dinâmicas:** algumas partes do sistema são conservadas durante um certo período da evolução, enquanto outras são modificadas;
- 2) **O sistema possui uma identidade:** apesar da grande variedade, o sistema é capaz de selecionar subsistemas estáveis, pois existe uma inércia que limita as mudanças no sistema;
- 3) **O sistema pode mudar sua organização interna:** pode ocorrer por meio do processo da mutação, por exemplo. A mutação corresponde à mudança de um ou mais elementos dentro de um subsistema estável. Quanto mais estável o subsistema, menor a probabilidade de acontecer uma mutação;
- 4) **O sistema pode mudar suas conexões entre os subsistemas:** pode ocorrer por meio do processo de recombinação, por exemplo. A recombinação corresponde a novas associações feitas pelo subsistema, mas que repercute no âmbito do sistema global;
- 5) **O sistema é organizacionalmente fechado:** usa-se o conceito de Maturana e Varela (1997) e Heylighen (1988) de que os sistemas complexos são organizacionalmente fechados e estruturalmente abertos à energia e recursos.
- 6) **O sistema se auto-organiza:** capacidade de se ajustar por meio da variabilidade interna e por meio de seus critérios de seleção;
- 7) **O sistema exhibe um misto de autonomia e dependência:** capacidade de se manter estável por um determinado período de tempo, apesar das perturbações internas e externas

a sua estrutura. A autonomia é obtida pela capacidade que o sistema possui de se estabilizar internamente e pela capacidade de resistir às perturbações externas. Em outras palavras, o sistema é autônomo quando consegue manter a identidade se adaptando as mudanças do ambiente;

- 8) **O sistema possui estrutura quase decomponível:** usa-se o conceito de Simon (1969), no qual os sistemas complexos evoluem, aumentando a complexidade em níveis recursivos. Uma estrutura se estabiliza formando um nível elementar estável, o qual, por combinação, pode fazer emergir uma estrutura estável mais alta, que, por sua vez, pode evoluir para um nível mais alto, num processo contínuo e recursivo;
- 9) **O sistema é atrelado às condições iniciais:** por natureza, o sistema possui habilidades que são inerentes a sua categoria. Por exemplo, o ser humano possui a habilidade natural de andar, falar, desejar; dessas habilidades naturais, derivadas da evolução humana, emerge, pela interação, a aprendizagem, que agrega ao indivíduo muitas competências. No caso das empresas, elas possuem habilidades naturais de controle, compra, venda, negociação; pelas interações, expandem-se habilidades para questões mais estratégicas e especializadas.

Esses pressupostos funcionais associados ao nível de evolução do sistema, sua localização espaço-temporal e sua arquitetura possibilitam um funcionamento dinâmico ao sistema. A próxima etapa visa dar funcionalidade a modelagem proposta.

Etapa 4: Dar funcionalidade a arquitetura do sistema

O motor que gera a dinâmica do sistema é a interação. A ela é atribuída toda diferenciação do sistema. Para tornar efetiva a arquitetura apresentada na fase 5, é preciso utilizar alguma ferramenta que organize e der subsídios para a interpretação das diferentes interações que a permeiam. A partir da pesquisa realizada, constatou-se que não existem muitas ferramentas que considerem as interações com *loops* de *feedback* não-lineares, motivo que dificulta a operacionalização dos sistemas complexos. No Capítulo 3, seção 3.4, apresentou-se algumas “ferramentas” que podem ser usadas para esse fim. Percebe-se, no entanto, a necessidade de aprimorar e desenvolver ferramentas que sejam mais adequadas ao funcionamento dos sistemas complexos. Nessa modelagem emprega-se como ferramenta, a análise estrutural (Godet, 1993), escolha justificada pelo maior nível de aprimoramento da

ferramenta, no que diz respeito a incorporação das características dos sistemas complexos e a facilidade da interface das matrizes MICMAC com o usuário.

— *Análise estrutural*

A análise estrutural é uma ferramenta para estudar o grau de interação entre as variáveis que formam um sistema.

No caso da estrutura apresentada na Figura 19, procede-se a **análise estrutural** da seguinte forma:

- a) Selecionam-se, em cada nível, os subsistemas representativos. Por exemplo, no nível elementar, analisam-se os sistemas isolados e os seus subsistemas;
- b) Dentro dos sistemas isolados, levantam-se os processos desenvolvidos por cada um dos subsistemas. Isso alimentará o nível intermediário;
- c) Selecionam-se os processos compartilhados pelos subsistemas dos sistemas analisados;
- d) Levantam-se as interações indispensáveis ao estabelecimento de um sistema integrado.

Para obter essas informações, usa-se a **matriz de análise estrutural** que representa um processo de interrogação sistemática, como está representada no Capítulo 3, seção 3.4.4, Figura 4.

O objetivo é analisar o grau de influência das variáveis. No quadrante I, busca-se identificar a ação das variáveis internas do sistema sobre si mesmas; no quadrante II, a ação das variáveis internas sobre as variáveis externas ao sistema; no quadrante III, a ação das variáveis externas sobre as internas; no quadrante IV, a ação das variáveis externas sobre si mesmas. Cada elemento a_{ij} da matriz deve ser classificado considerando $a_{ij} = 1$, se a variável i age diretamente sobre j e 0 no caso contrário. Podem ser atribuídos outros valores, se considerada as intensidades das influências.

Na matriz, as interações são classificadas como de influência fraca, atribuindo-se valor (1); influência forte, atribuindo-se valor (2); influência muito forte, atribuindo-se valor (3); influência potencial, atribuindo-se o símbolo (P).

Na determinação das interações entre as variáveis, é importante observar e evidenciar as seguintes influências:

- 1) há influência direta da variável i sobre a j , ou a relação será de j para i ?

- 2) há influência direta da variável i sobre a j , ou há uma co-interação, atuando uma terceira variável no circuito?
- 3) a influência de i com j é direta ou passa por outra variável?

A matriz de análise estrutural é uma ferramenta para encontrar todas as variáveis envolvidas num problema e o grau de influência de uma variável em relação à outra. A partir desse ponto, faz-se uma seleção das variáveis-chave do sistema. Para tanto, usa-se o método MICMAC.

— MICMAC: Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicação Aplicada a uma Classificação

O objetivo da MICMAC é identificar as variáveis-chave, as mais autônomas e as mais dependentes do sistema. Para isso, constrói-se uma tipologia que classifica as variáveis pelas influências direta e indireta.

a) Influências Diretas

Um exame direto da matriz estrutural permite perceber as variáveis que possuem maior influência direta no sistema. Para obter as influências diretas, usa-se o seguinte procedimento:

- 1) Somam-se os elementos das linhas da matriz. A soma de uma linha representa o número de vezes que a variável i tem influência sobre o sistema. Esse número constitui um indicador de autonomia da variável i .
- 2) Somam-se as colunas da matriz. A soma da coluna representa o número de vezes que a variável j sofre a influência das outras variáveis. Esse número constitui um indicador de dependência da variável j .

Obtêm-se, assim, para cada variável, um indicador de autonomia e um indicador de dependência que permite classificar as variáveis segundo esses dois critérios.

Essa classificação das variáveis, com influência direta no sistema, não consegue captar as variáveis ocultas que, muitas vezes, possuem forte influência no sistema.

Para exemplificar, apresenta-se um sistema de variáveis decomposto em dois subsistemas A e B, ligados pelas variáveis x , y e z .

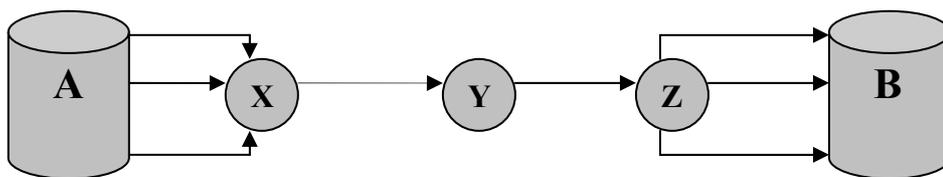


Figura 22: Variáveis com Influência direta sobre um sistema e a presença de variáveis ocultas.

Observando-se a Figura 22, percebe-se que a variável X é muito dependente do subsistema A. Por outro lado, a variável Z exerce forte influência sobre o subsistema B. A análise, em termos de influência direta, exclui a variável Y, que é essencial na configuração do sistema, pois ela é a conexão entre os dois subsistemas A e B. Por isso, a modelagem deve identificar as variáveis ocultas que, também, compõem o sistema.

b) Influências Indiretas

Além das Influências diretas, existem as influências indiretas entre as variáveis. Estas ocorrem por meio de cadeias de influências e elos de *feedback*. Uma matriz pode apresentar dezenas de variáveis e conter infinitas interações sob a forma de cadeias e de elos, sendo improvável que uma pessoa possa representar e interpretar tal rede de interações.

O método MICMAC começa, efetivamente, a ser usado neste ponto. Dado a grande quantidade de interações em cadeias e elos é necessário uma ferramenta que viabilize essa análise.

O método MICMAC é um programa de multiplicação matricial aplicado à matriz estrutural. Ele possibilita o estudo e a difusão dos impactos das variáveis pelas vias e pelos elos de *feedback*, conseguindo hierarquizar as variáveis:

- 1) por ordem de autonomia, levando em consideração o número de vias e de elos de comprimento 1,2,3,... n, saídas de cada variável;
- 2) por ordem de dependência, levando em consideração o número de vias e de elos de comprimento 1,2,3,... n, que chegam a cada variável.

c) O princípio de construção do MICMAC

O princípio MICMAC apóia-se nas propriedades clássicas das matrizes booleanas. Seu funcionamento básico consiste em: se a variável i influencia diretamente a variável x e se x influencia diretamente a variável j, então qualquer mudança que afete a variável i pode

repercutir na variável j . Há uma relação indireta entre i e j . A representação gráfica desse princípio, pode ser visualizada na Figura 4, seção 3.4.4 do Capítulo 3. A descrição da operacionalização desse princípio, também está discutido nos referidos Capítulo e seção.

A matriz MICMAC analisa as interações entre as variáveis que surgem em cadeia e em elos de feedback, tais relações estão ilustradas na Figura 5, seção 3.4.4 do Capítulo 3.

A partir do entendimento do princípio MICMAC e de como as interações são tratadas detalha-se a composição da matriz de análise estrutural, demonstrando a base do funcionamento dela. A Figura 23 mostra a matriz base para a análise das influências indiretas entre as variáveis.

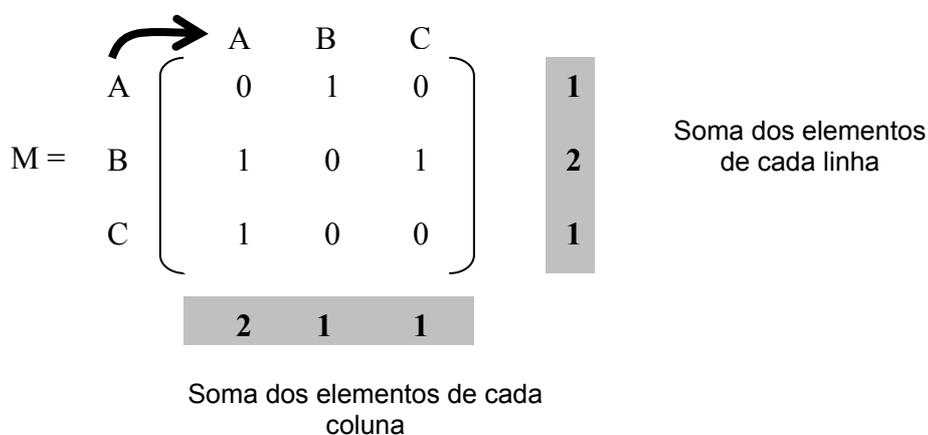


Figura 23: Matriz base para análise das influências indiretas entre as variáveis

Na primeira matriz, é possível captar, apenas, as influências diretas entre as variáveis. A atribuição dos valores 0 e 1 se referem, respectivamente, a inexistência de influência de uma variável em relação à outra e à existência de influência direta de uma variável em relação à outra. Não é considerada a influência de uma variável sobre si mesma. Da soma das linhas, pode-se deduzir a variável com maior grau de autonomia; da soma das colunas, as variáveis com maior grau de dependência no sistema.

As influências indiretas são consideradas a partir da elevação da matriz a potência, multiplicando-se de matrizes.

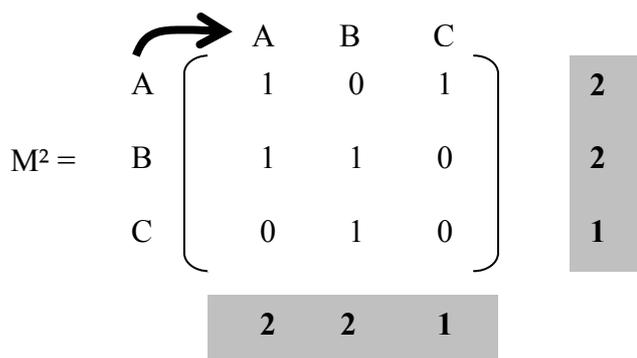


Figura 24: Elevação da matriz à potência.

Na Figura 24, o número 1 na primeira linha com a primeira coluna, significa que existe um elo de comprimento 2 de A para A. Já o número 1, na segunda linha com primeira coluna, significa que há uma via de comprimento 2 de A para B, como pode ser observado na Figura 5, seção 3.4.4 do Capítulo 3.

$$M^3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

3 2 2

Figura 25. Elevação da matriz à 3ª potência.

A matriz elevada à potência 3, Figura 24, indica as vias e cadeias de comprimento 3, no percurso de uma variável à outra.

As classificações em linha e em coluna se tornam estáveis a partir de uma certa potência. As classificações da matriz, multiplicada por uma certa potência, possibilitam a emergência de variáveis importantes, segundo os efeitos indiretos de *feedback*.

As classificações em colunas e linhas ganham estabilidade a partir da potência 4. Essa estabilidade é evidenciada quando todas as variáveis exercem influência umas sobre as outras. Da mesma forma, pode-se obter uma matriz estável considerando a intensidade das interações. Nesse caso, o processo necessita de algumas iterações, com uma matriz inicial preenchida com os valores 1,2,3, e P em função da intensidade das influências.

d) As três classificações: direta, indireta e potencial

Após aplicar a matriz MICMAC e encontrar a estabilidade da matriz estrutural inicial, elevando-a à potência 2,3,4,5,...n, trata-se de evidenciar as variáveis mais autônomas e as mais dependentes. As variáveis autônomas são aquelas que influenciam mais o sistema; as dependentes são as mais sensíveis à evolução do sistema.

No processo de classificação, identificam-se as variáveis com maior número de ligações diretas com o sistema e as variáveis ocultas que consideram as ligações indiretas e os elos de *feedback*.

As variáveis são classificadas segundo o número e a intensidade das interações em que estão envolvidas, tanto em autonomia como em dependência. Três classificações se destacam: direta, indireta e potencial, segundo a natureza das interações.

Pode-se proceder a uma comparação entre as classificações direta, indireta e potencial, associando-as a uma escala temporal.

- A classificação direta está associada ao horizonte de curto prazo;
- A classificação indireta integra cadeias de influência e elos de *feedback*, estando associada ao horizonte de médio prazo;
- A classificação potencial integra relações que somente apareceram no futuro, estando associada ao horizonte de longo prazo.

e) O plano de autonomia-dependência e sua interpretação

A cada variável, associam-se um indicador de autonomia e um indicador de dependência em todo o sistema. O conjunto das variáveis pode posicionar-se num plano autonomia-dependência, o qual pode receber influências direta, indireta ou potencial como está representado e descrito no Capítulo 3, seção 3.4.4, Figura 7.

A análise da disposição das variáveis, na figura 7 (Capítulo 3, seção 3.4.4), possibilita inferir os intervalos de tempo em que o sistema se mantém num estado estável ou num estado de instabilidade. Um pequeno número de variáveis de referência confere ao sistema uma relativa estabilidade. Um sistema estável introduz uma dicotomia entre as variáveis autônomas (agir-não agir) e as variáveis de resultado, que dependem das autônomas. Num sistema instável, cada variável é autônoma e dependente e qualquer ação sobre uma delas repercute sobre todas as outras e sobre ela mesma.

As representações gráficas da concentração de variáveis, num sistema estável e instável, são apresentadas na Figura 26.

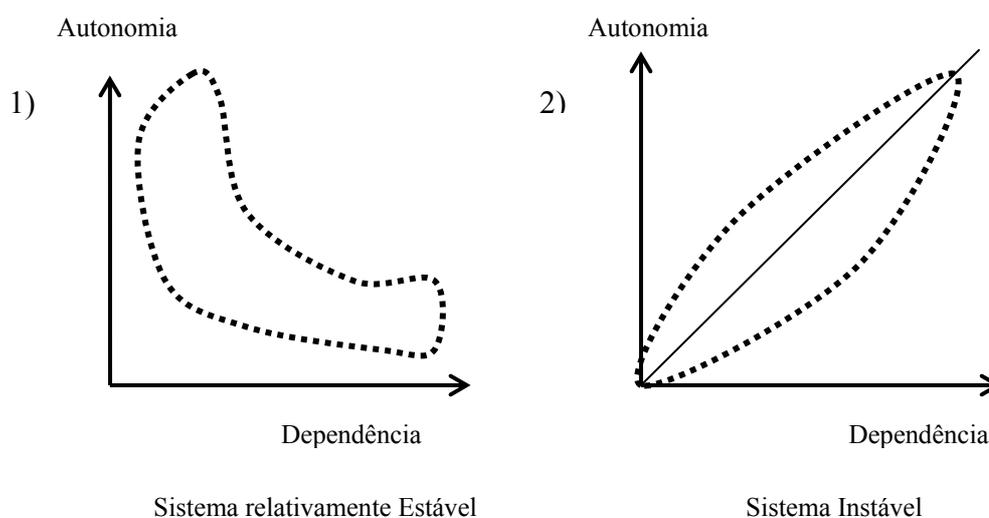


Figura 26. Representação de um sistema estável e instável.

Na Figura 26 do gráfico 1, as variáveis estão distribuídas por todo o espaço, diminuindo a interferência de uma variável sobre as outras. No gráfico 2, as variáveis se concentram ao redor da diagonal principal, indicando que a atividade de uma variável interfere nela própria e nas demais, conferindo instabilidade ao sistema.

A classificação indireta (MICMAC), associada à classificação direta da matriz de análise estrutural, leva a uma reorganização da hierarquia das variáveis.

f) Evidenciação das variáveis ocultas

A comparação entre as classificações direta, indireta e potencial permite confirmar a importância de certas variáveis e descobrir variáveis consideradas pouco importantes, mas que podem desempenhar, por meio de influências indiretas, papel essencial ao funcionamento do sistema. Nesse caso, ignorar tais variáveis representa um grande equívoco, que pode abalar a validade das interpretações.

A intervenção do método MICMAC, na modelagem proposta, compreende as etapas de a - f apresentadas nesta seção. O uso desse método permite conhecer e tratar as interações de forma mais sistêmica e operacionalizável. O objetivo é compreender as influências entre as variáveis tanto no aspecto de quem influencia quem, quanto no aspecto da intensidade das interações.

Etapa 5: Indicação da auto-organização do sistema

Para atribuir dinâmica à arquitetura estática do sistema, o observador guia-se por três dimensões: a arquitetura da modelagem, a energia das interações e a auto-organização.

Da compreensão e intervenção na arquitetura do sistema, conhecem-se os elementos que geram a dinâmica do sistema, a articulação dos elementos e as capacidades do sistema complexo. Da análise das interações, apura-se a identidade do sistema. Na auto-organização, o objetivo é compreender os processos que fazem o sistema se automanter, autogerir-se e, portanto, auto-organizar-se.

- *Características que indicam um sistema auto-organizável*

Nesta seção, resgatam-se características já destacadas no decorrer do estabelecimento dessa modelagem, que evidenciam a capacidade de auto-organização do sistema.

a) **Sistema Autônomo**: formado por subsistemas estáveis, os quais se derivam da estabilidade dos processos internos associados à capacidade de resistir às perturbações do ambiente. Esse fato gera a capacidade de adaptação do sistema. Representa-se essa característica na Figura 27.

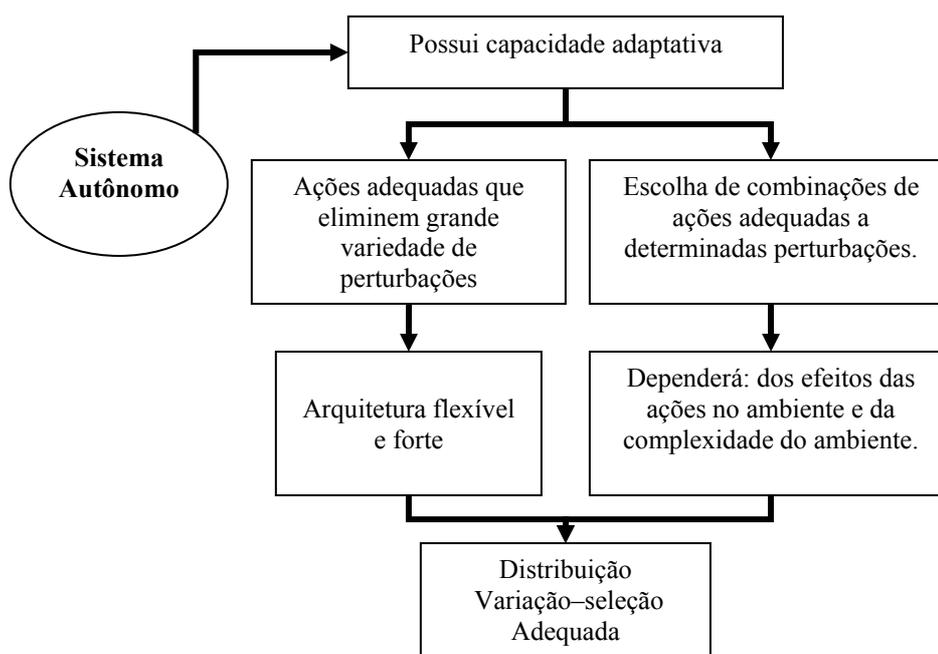


Figura 27: Sistema Autônomo

A Figura 27 mostra que a capacidade adaptativa do sistema autônomo é representada pela seleção de ações apropriadas a determinadas situações. Devido à variedade de perturbações emitidas pelo ambiente, o sistema precisa ter mecanismos de regulação que eliminem a maioria delas e se mantenha estável. Essa atividade é auxiliada pela própria arquitetura física do sistema, que fornece um conjunto finito de ações conforme sua constituição. Já as combinações de ações são infinitas e constitui um processo mais sofisticado, exigindo atividade cognitiva para escolher as ações combinadas que vão reagir no ambiente e perceber as características dele. Essas ações e reações devem ocorrer num processo rápido e contínuo para que o sistema não seja destruído antes que a ação apropriada seja adotada.

b) **Sistema organizacionalmente Fechado:** usa-se o conceito de Maturana e Varela (1997) de sistema organizacionalmente fechado e estruturalmente aberto à captação de energia e recursos. A idéia básica do fechamento do sistema é que algumas interações podem ser eliminadas e outras não. De acordo com o princípio dinâmico da variação-seleção, as interações que podem ser excluídas são aquelas que destroem a estabilidade do sistema. O sistema precisa de estabilidade organizacional interna para preservar sua identidade e ajustar-se às perturbações do ambiente. Sistemas complexos sofrem mudanças constantes, mas sua identidade permanece estável pela ação de uma fronteira que separa o sistema do ambiente. Representa-se essa característica na Figura 28.

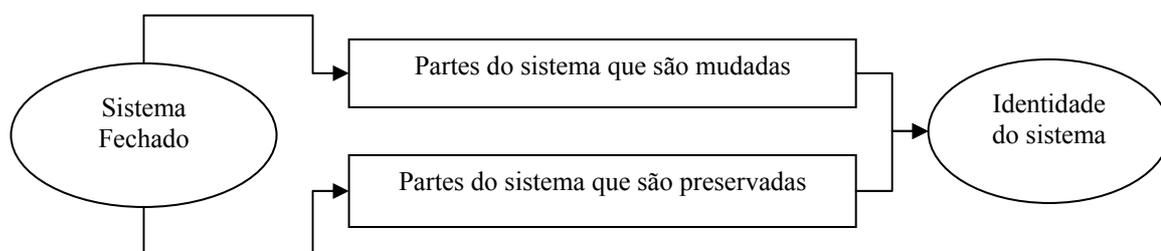


Figura 28. Sistema fechado versus identidade do sistema

A Figura 28 mostra que, para captar a identidade do sistema, é necessário mapear as suas partes, identificando-se as que permanecem estáveis, apesar das mudanças internas do sistema e do ambiente e as que se transformam.

c) **Sistema forma novas estruturas:** dois processos transformam o sistema: a recombinação e a mutação. A mutação acontece, apenas, dentro da organização interna do sistema, sem interação externa, a qual está associada, na maioria das vezes, à instabilidade da estrutura interna. A recombinação refere-se às interações entre os subsistemas. Essas recombinações podem formar novas estruturas, às quais poderão se associar novas recombinações num processo sucessivo.

- d) **Padrões do Sistema:** a evolução da complexidade exhibe padrões, a captação dos quais facilita o processo de auto-organização, por representar estímulo à mudança ou para conservação de determinada estrutura.
- e) **Percepção da Auto-organização:** existem algumas formas de se analisar a auto-organização de um sistema. Observando-se o conceito de atrator (Prigogine, 1984): atrator é um conjunto de estados de um sistema dinâmico tal que, se o sistema está num estado pertencente a um determinado atrator, ficará dentro desse atrator. Observando-se a estrutura fractal do sistema (Mandeldrot, 1982): os padrões auto-similares são recorrentes da mesma forma em diferentes níveis. Observando-se a hierarquia (Simon,1969): a estrutura hierárquica estabelecida por Simon é recursiva e no formato de caixas dentro de caixas. Observando-se a organização autopoietica (Maturana e Varela, 1997): é formada de uma rede de processos que se produzem. Nessa modelagem, a construção da estrutura segue os preceitos da hierarquia de Simon.

Etapa 6: Monitoramento do funcionamento do sistema

Como o sistema é dinâmico, ele tende a mudar de acordo com as mudanças que ocorrem no ambiente. O monitoramento funciona como um mecanismo de captação das mudanças do ambiente, transferindo tais informações para o sistema analisado, para que este se ajuste internamente e não seja destruído pelas perturbações externas.

Levantadas essas características, pode-se observar o processo de auto-organização do sistema, culminando com uma reavaliação de todo o sistema.

Essa etapa conclui a modelagem do sistema. O Quadro 28 apresenta os resultados esperados da implementação dessa modelagem.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM

A implementação dessa modelagem envolve treinamento e formação de um grupo permanente para avaliar os resultados da nova configuração dada ao sistema. Esses aspectos estão relacionados às seis fases da modelagem proposta. As seções seguintes discutem os aspectos relativos à implementação.

5.2.1 TREINAMENTO

O treinamento ocorrerá em todas as fases da modelagem, quando as pessoas envolvidas não estiveram familiarizadas com os conceitos e com as ferramentas que serão empregadas no trabalho.

Os conceitos apresentados da Etapa 1 da Fase 1 devem ser disseminados entre todos os envolvidos em cada aplicação da modelagem. Os demais conceitos, tais como *fitness landscape*, bacia de atração, níveis de complexidade, entre outros, deverão ser discutidos quando eles forem empregados no decorrer da implementação da modelagem.

No caso do processo de implementação ocorrer em um único sistema, o treinamento deve ser direcionado aos agentes envolvidos nos processos desse sistema. Quando a implementação ocorrer em dois ou mais sistemas, simultaneamente, o treinamento deve ocorrer em cada um dos sistemas participantes à medida que os conceitos e ferramentas forem sendo empregados na implementação da modelagem.

5.2.2 FORMAÇÃO DO GRUPO PERMANENTE DE AVALIAÇÃO

Deve ser formado um grupo permanente de avaliação, do qual participarão representantes de todos os sistemas envolvidos. Eles serão responsáveis pela implementação da modelagem, a partir da Fase 3.

O objetivo desse grupo é acompanhar os resultados que a nova modelagem está trazendo ao sistema e dar continuidade à implementação. Isso porque, a modelagem proposta difere estruturalmente dos modelos usualmente empregados, principalmente por utilizar a modelagem sistêmica, o que muda a maneira cognitiva de percebê-lo.

A composição do grupo fica a critério dos sistemas envolvidos. É recomendável que os componentes sejam agentes que conheçam profundamente o sistema e que estejam diretamente ligados aos processos envolvidos na implementação da modelagem.

5.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste Capítulo, apresentaram-se as Fases e Etapas da modelagem de referência proposta para representar sistemas complexos sociais. O Quadro 28 resume as principais entradas, os processos e as saídas de cada fase.

O próximo Capítulo apresenta a validação da modelagem proposta em uma situação real.

Modelagem Proposta				
Fases	Entradas	Processos		Saídas
		Conceitos empregados	Ferramentas	
1. Preparação	- Definição do sistema e identificação dos principais agentes envolvidos; - Nivelamento Conceitual; - Caracterização do sistema.	Complexidade, sistema, sistema complicado, sistema complexo, sistema adaptativo complexo, agente, interação, organização, auto-organização, estrutura, emergência, modelagem, entre outros.	- Seminário com os envolvidos	- Compreensão dos conceitos empregados na modelagem. - Delimitação do sistema.
3. Determinação do nível de evolução do sistema	Classificação do sistema quanto ao nível de evolução em complexidade, com base em suas características.	Níveis de Complexidade de 1 a 9: (1) estrutura inflexível; (2) estrutura dinâmica; (3) estrutura controlável; (4) estrutura aberta; (5) estrutura com especialização de funções; (6) estrutura capaz de armazenar informações; (7) estrutura capaz de ação e reflexão; (8) estrutura capaz de auto-organização; (9) estrutura inteligente capaz de perceber e se adaptar às mudanças. Características identificadas no sistema: (1) estrutura funcional; (2) reconhecimento, captação e processamento da informação; (3) reconhecimento e compreensão das regularidades e aleatoriedades; (4) esquema dominante; (5) condições internas intermediárias; (6) mecanismos de controle interno; (7) escala de análise para a qual o sistema direciona sua atenção.	- Roteiro de entrevistas; - Observação direta	Diagnóstico do nível de evolução em complexidade do sistema.
3. Pode ser necessário tornar os níveis	Os sistemas envolvidos precisam desejar a compatibilidade dos sistemas.	Complexidade, sistema complexo, níveis de complexidade, tipos de sistemas, agentes, evolução do sistema.	- Base conceitual; - Roteiro de entrevistas; - Observação direta	Novo diagnóstico do nível de evolução dos sistemas.
4. Localização espaço-temporal	Análise visual do sistema. Cruzamento do momento no tempo com a posição no espaço.	Posição assumida pelo sistema no espaço, posição assumida pelo sistema no tempo, percepção do observador, trajetória, pressões seletivas, <i>fitness landscape</i> , bacia de atração e atrator.	- Base conceitual; - Observação direta; - Mapeamento espaço-temporal do sistema.	<i>Status</i> do sistema com base na localização espaço-temporal.
5. Arquitetura do sistema	Determinação da estrutura para funcionamento do sistema	Estrutura quase decomponível, níveis de integração, interação, estrutura de intervenções: horizontal e vertical, ciclos adaptativos, análise cruzada, elementos, formação e atividade	- Base conceitual - Observação direta;	Determinação da arquitetura estática do sistema e sua descrição.
6. Dinâmica do Sistema	A partir da percepção do observador determinam-se os elementos do sistema, articulando-os e definindo o funcionamento dele.	Observador, arquitetura da modelagem, energia das interações e auto-organização, análise estrutural e MIC MAC.	- Base Conceitual; - Observação direta; - Análise estrutural; - Matriz MICMAC	Determinação da dinâmica funcional do sistema.

Quadro 28. Entradas, processos e saídas de cada fase da modelagem proposta

CAPÍTULO 6: VALIDACAO DA MODELAGEM PROPOSTA PARA REPRESENTAR SISTEMAS COMPLEXOS SOCIAIS

Neste Capítulo é apresentada uma aplicação da modelagem proposta, a qual foi descrita e discutida no Capítulo 5, para demonstração do seu uso numa situação real. A modelagem proposta é referencial e genérica, sendo direcionada para os sistemas complexos sociais. Em outras palavras, a modelagem proposta foi desenvolvida a partir do modelo mental dos sistemas complexos sociais, tal como as organizações empresariais. Como base teórica de construção foi utilizado os pressupostos das Ciências da Complexidade. A aplicação em parte de uma cadeia de suprimentos, deve-se à lógica de formação e ao funcionamento dos arranjos empresariais serem similares à lógica estabelecida pelas Ciências da Complexidade (integração, colaboração, cooperação, compartilhamento e dinâmica) discutidas nos Capítulos 2, 3 e 4, desse trabalho. Além disso, o campo de conhecimento em que o trabalho está sendo desenvolvido é a Engenharia de Produção, tendo a empresa como objeto de análise.

Nessa perspectiva, dependendo do sistema que está sendo modelado, poderá ser necessário a incorporação de etapas extras àquelas estabelecidas na modelagem proposta, sem que seja reduzido seu valor. Cada sistema apresenta peculiaridades próprias e objetivos particulares que, devem ser considerados na modelagem para que ela reflita a realidade da situação representada, considerando o período de tempo para sua implementação, os recursos disponíveis e as condições de funcionamento interno do sistema. A modelagem proposta tem a intenção de ser referência para os modeladores que seguem a lógica sistêmica e consideram a complexidade dos sistemas, não sendo por isso, rígida e inflexível. Ao contrário, adaptações e contribuições são aspectos enriquecedores para o aprimoramento da referida modelagem.

A aplicação foi feita em parte de uma cadeia de suprimentos de um hotel, envolvendo duas empresas membros. Inicialmente, selecionou-se o setor serviço dentre os setores da economia, no qual seria aplicada a modelagem proposta. Em seguida, pesquisou-se junto ao setor hoteleiro da cidade de Florianópolis, SC, sobre o interesse em conhecer a referida modelagem. Os contatos foram feitos via e-mail com cinco hotéis de padrões econômico, luxo e *resort*. Todos tendo demonstrado interesse, foram agendadas apresentações com gerentes e com supervisores de cada hotel, os quais mantiveram o interesse inicial em participar do

projeto da modelagem proposta. Por limitações acadêmicas, em função do tempo disponível para a pesquisa e pelos próprios objetivos dela, foi necessário escolher um único hotel, considerando-se as condições oferecidas, para em seguida, iniciar a implementação do projeto. A cadeia de suprimentos imediata foi mapeada, posteriormente, conforme orientação do hotel. A pesquisa ocorreu no período de setembro de 2003 a junho de 2004, quando os dados foram coletados e foram realizadas reuniões com os agentes envolvidos nas três empresas.

A percepção do observador é que a otimização das partes de um sistema (empresa) decorre da qualidade das interações mantidas dentro dele e com seus subsistemas, bem como das interações da empresa com os seus relacionamentos comerciais externos.

Na seção seguinte apresentam-se as fases e as etapas que foram seguidas para a implementação da modelagem proposta e, ao final do Capítulo, são apresentadas as conclusões sobre a validação realizada.

6.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM

O trabalho foi desenvolvido em seis fases, conforme descritas no Capítulo 5, as quais foram implementadas na seqüência deste Capítulo. Destaca-se que, apesar do treinamento não ser considerado uma etapa formalmente estabelecida, não sendo descrita na seqüência de implementação do trabalho, existiu desde a Etapa 1 da Fase 1, sendo apresentados os principais conceitos relacionados a modelagem proposta. Inicialmente, o objetivo foi explicar aos agentes diretamente envolvidos da empresa focal, em que consistia a modelagem que se propunha aplicar. Em seguida, à medida que as pessoas foram sendo agregadas, em diversas ocasiões foram realizados rápidos treinamentos com os novos participantes para apresentá-les, os conceitos, os objetivos e as iniciativas que estavam sendo implementadas e discutidas.

6.1.1 FASE 1: PREPARAÇÃO

As etapas de preparação foram iniciadas pela empresa focal e estendida, quando necessário, para as demais empresas, objetivando analisar a viabilidade da continuação da

modelagem proposta. Esta fase envolveu sete etapas que são apresentadas na seqüência desta seção.

Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõe

O sistema a ser modelado é uma cadeia de suprimentos imediata, cuja empresa focal é um hotel quatro estrelas (Hotel *Blue Tree Tower*) da cidade de Florianópolis, SC. Os principais agentes envolvidos são: o gerente geral e os cinco supervisores responsáveis pelos departamentos existentes (governança, recepção, financeiro, infra-estrutura e comercial). As duas empresas, a montante e a jusante da cadeia de suprimentos imediata, foram indicadas pela empresa focal. Havendo interesse dessas empresas em participar do projeto da modelagem proposta, serão analisadas conjuntamente e acompanhada pelo modelizador.

Etapa 2: Nivelamento conceitual na empresa focal

Foram discutidos com os agentes envolvidos na empresa focal, os conceitos que fundamentam a modelagem proposta, a saber: das Ciências da Complexidade (complexidade, sistema, sistema complexo, complicado, modelagem, interação, emergência, auto-organização etc.); dos arranjos empresariais (cadeia de valor, cadeia produtiva e cadeia de suprimentos). Além disso, foram abordados os relacionamentos entre as empresas e o envolvimento destas com a cadeia de suprimentos. O objetivo dessa etapa foi transmitir o conhecimento teórico, como suporte aos participantes do projeto da modelagem proposta.

Etapa 3: Caracterização da empresa focal

A empresa focal deste trabalho pertence à rede de hotéis *Blue Tree Hotels*, estabelecida no Brasil desde 1998, pela empresária Chieko Aoki. A *Blue Tree Hotels* é uma empresa de serviços de administração de hotéis, cuja origem está associada a administradora *Caesar Towers*, empresa criada por Chieko Aoki em 1992 para gerenciar, principalmente, hotéis voltados para executivos. A rede abrange submarcas: *Blue Tree Park*, para hotéis de padrão cinco estrelas e *resorts*; *Blue Tree Towers*, para hotéis de padrão quatro estrelas e *Blue Tree Basic*, para hotéis de padrão três estrelas. De acordo com a estratégia de expansão da rede, a partir da mudança da administradora *Caesar Towers* para *Blue Tree Hotels* houve a

venda de 20% de suas ações para o FUNCEF (Fundação dos Economiários Federais), visando ampliar seu capital e acelerar o processo de expansão.

Atualmente, a rede é composta por 25 hotéis distribuídos pelos principais Estados brasileiros. O processo de expansão da rede está ilustrado no Quadro 29, apresentado na seqüência.

Expansão da rede <i>Blue Tree Towers</i> no Brasil de 1998 a 2004				
Estados brasileiros	Nº de hotéis	Distribuição	Tipo	Mês/Ano de Fundação
São Paulo(SP)	11 (onze)	09 em São Paulo Capital	<i>Towers</i>	Jan/1996 Jan/1998 Jan/2000 Set/2000 Jan/abril/maio/Julho2001 Mar/2002
		01 em Mogi das Cruzes	<i>Park</i>	Ago/2003
		01 em Campinas	<i>Towers</i>	Ago/2004
Rio Grande do Sul (RS)	03 (três)	02 em Porto Alegre	<i>Towers</i>	Nov/1997 Set/2001
		01 em Caxias do Sul	<i>Towers</i>	Jan/2004
Distrito Federal (DF)	02 (dois)	Brasília	<i>Towers e Park</i>	Abril/2000 Abril/2001
		01 em Florianópolis	<i>Towers</i>	Mar/2000
Santa Catarina (SC)	02 (dois)	01 em Joinville	<i>Towers</i>	Jan/2002
Pernambuco (PE)	02 (dois)	01 em Recife	<i>Towers</i>	Nov/1994
		01 em Cabo de Santo Agostinho	<i>Park</i>	Abril/1997
Paraná (PR)	02 (dois)	Curitiba	<i>Basic e Towers</i>	Set/2001 Out/2004
Rio de Janeiro (RJ)	01 (um)	Angra dos Reis	<i>Park</i>	Dez./2000
Ceará (CE)	01 (um)	Fortaleza	<i>Towers</i>	Jul/2004
Bahia (BA)	01 (um)	Salvador	<i>Towers</i>	Abril/2003

Quadro 29: Expansão da rede *Blue Tree Hotels* no Brasil de 1998 a 2004

Nota-se que a trajetória de expansão da rede *Blue Tree Hotels* segue uma estratégia agressiva de penetração no mercado, começando por São Paulo, onde estão concentrados maior número de hotéis da rede e localizado seu escritório corporativo, expandindo-se por diversos pontos do Brasil. Com a estratégia de abertura de capital e assumindo a identidade de empresa de serviço de administração de hotéis, em pouco tempo (7 anos) conseguiu penetrar nos mercados turísticos mais representativos do Brasil, conforme Quadro 29. Apesar da rede *Blue Tree Hotels* ter sido estabelecida a partir de 1998, os três hotéis da rede com fundação nos anos de 1994, 1996 e 1997 foram herdados da *Caesar Towers* (1992), empresa que originou o *Blue Tree Hotels*. No total a rede possui 5625 apartamentos, 3400 funcionários e 650 000 hóspedes.

A missão da rede *Blue Tree Hotels* é “*prover serviços de hospitalidade com alta qualidade e estilo próprio, gerando retorno e valorização dos empreendimentos*”. A rede assume compromissos com os principais agentes formadores de seu negócio, tais como:

- **Com o investidor:** comprometimento total com a maximização da rentabilidade do investimento, conceituando, operando e continuamente atualizando os produtos hoteleiros, a fim de obter resultados que excedam as expectativas do mercado e antecipem as tendências, ampliando as oportunidades do produto e dos novos empreendedores.
- **Com o Hóspede:** oferecer excelente e inigualável experiência em hospedagem em todos os segmentos de atuação, encantando-os pelo conforto das instalações, pelo alto nível de competência e pela qualidade dos serviços.
- **Com o funcionário:** mantê-lo motivado, atualizado e comprometido com treinamentos e desenvolvimento profissional, com autoridade e responsabilidade para exceder as expectativas dos clientes, atingindo os resultados operacionais, financeiros e de qualidade dos serviços.
- **Com a sociedade:** incrementar a economia com a rentabilidade dos investimentos, ampliando oportunidades de trabalho e melhorando o nível técnico e profissional no setor de serviços hoteleiros e de alimentos e bebidas.
- **Com o meio ambiente:** preservar e valorizar a natureza, desenvolvendo os empreendimentos com respeito ao meio ambiente, bem como criando sinergia com a tipicidade cultural da região.

A rede possui uma **estrutura** que lhe dar suporte. Ela é composta de nove departamentos com atividades específicas, que são apresentados no Quadro 30, a seguir.

O Quadro 30 ilustra a estrutura de suporte da rede *Blue Tree Hotels*. A partir dessa estrutura, os hotéis são estruturados e administrados, respeitando as peculiaridades da região na qual estão localizados, criando uma identidade para a rede.

A rede atua no setor de serviços e no segmento hoteleiro, direcionado para o público em viagens de negócios. Foca a atenção no mercado de hotéis mais econômicos (*Towers*) direcionado ao público formado por executivos, conforme comportamento de expansão da rede, demonstrado no Quadro 29, composta de: 4 hotéis da categoria *Park*, 20 da categoria *Towers* e 1 da categoria *Basic*. A intenção é agregar valor pela qualidade dos serviços prestados e pelo retorno gerado aos acionistas. A rede busca se diferenciar do mercado concorrente, seguindo um estilo próprio que proporcione aos hóspedes, sentimento de aconchego, de conforto e de prazer em estarem no hotel. O objetivo é que os hóspedes tenham

a sensação que pagaram pouco pelos serviços que receberam, além de associarem o estilo do hotel aos seus estilos de vida.

Estrutura de Suporte da rede <i>Blue Tree Hotels</i>	
Departamentos	Objetivos
Desenvolvimento	Definição da estratégia de expansão da rede
	Prospecção de novos negócios
	Análise mercadológica e da concorrência
	Análise da viabilidade de empreendimentos
Projetos e implantação	Conceituação operacional dos novos hotéis
	Assessoria técnica para projetos hoteleiros
	Inspeção contínua na construção dos empreendimentos
	Confecção dos manuais de equipamentos e materiais operacionais
Marketing e Vendas	Elaboração do plano de marketing, criação de promoções e desenvolvimento de materiais promocionais
	Análise contínua do desempenho de vendas e concorrência de mercado
	Coordenação da central de reservas
Recursos Humanos	Recrutamento e seleção de colaboradores
	Criação e coordenação de programas de treinamento
	Contínuo desenvolvimento profissional
Operações	Coordenação da operação hoteleira focada na maximização do lucro e melhoria contínua da qualidade dos serviços
	Acompanhamento contínuo do desempenho dos hotéis
	Criação de programa para inovação e melhoria das facilidades e serviços dos hotéis
Tecnologia da Informação	Coordenação de projetos de telecomunicações e novas tecnologias dos hotéis
	Estratégias de <i>e-commerce</i>
	Manutenção de sistemas
	Internet
Administrativo - Financeiro	Gerenciamento corporativo de relatórios e análises de desempenho da rede
	Relacionamento com investidores
Controladoria	Coordenação do orçamento anual corporativo e dos hotéis
	<i>Follow-up</i> contínuo e controle de orçamento junto aos hotéis
	Orientação administrativo- financeira para os hotéis
	Relacionamento com os investidores
Jurídico	Assessoria Jurídica aos hotéis em operação
	Formatação jurídica e análise contratual de hotéis em implantação
	Suporte legal às atividades corporativas

Quadro 30: Estrutura de Suporte da rede *Blue Tree Hotels*

Atualmente, a rede vem implementando iniciativas colaborativas com seus parceiros comerciais, evoluindo de relacionamentos abertos com sua cadeia de suprimentos, para relacionamentos de parceria, nos quais há uma explícita preocupação com a satisfação de seus fornecedores e clientes em criarem regularidade nos relacionamentos.

A rede *Blue Tree Hotels* estabeleceu uma aliança de marketing e vendas com a rede de hotéis *Raffles International*, em Singapura. Esta rede é composta por 38 hotéis e *resorts*: 12 com a marca *Raffles Hotels & Resorts* e 26 com a marca *Swissôtel Hotels & Resorts*. Eles estão presentes na Ásia, na Austrália, na Europa e nas Américas, totalizando mais de 12 000 apartamentos. Essa aliança pode ser o começo do processo de internacionalização da rede *Blue Tree Hotel*; além disso, divulgar a baixo custo, os hotéis da rede no exterior.

O *Blue Tree Tower* – Florianópolis-SC, unidade de análise deste trabalho, iniciou suas atividades em março de 2000, possuindo 95 apartamentos e 46 funcionários, sendo 2 estagiários e 5 terceirizados. Sua missão é “*prover serviços de hospitalidade com alta qualidade e estilo próprio, gerando retorno e valorização dos empreendimentos,*” concordando com a missão da rede *Blue Tree Hotels*. A estrutura de suporte do hotel está hierarquizada internamente da seguinte forma: uma Gerência Geral suportada pelos seguintes departamentos: governança, supervisor de recepção, supervisor de vendas, supervisor financeiro e supervisor de infra-estrutura. Na rede a hierarquia é a seguinte: o Gerente Geral do hotel, em Florianópolis, está subordinado ao Gerente Regional (Santa Catarina); este, por sua vez, está subordinado ao Diretor Operacional do Grupo; que está subordinado ao Vice-Presidente de operações, o qual se reporta diretamente a Presidente do Grupo.

Etapa 4: Mapeamento da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal

A denominação empresa focal, nesse trabalho, designa a empresa da qual partiu a aplicação da modelagem proposta. O termo “focal” é sugerido por Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Pires (2004) e a delimitação assumida na modelagem - cadeia imediata - é apoiada na visão de Slack (1993). O conceito de cadeia de suprimentos utilizado no trabalho é o estabelecido por Lambert, Cooper e Pagh (1998), no qual os autores partem dos objetivos de uma empresa, denominada “Focal” ou “Foco”, e estabelecem que a determinação da abrangência da cadeia de suprimentos é limitada pelas interações direta e indireta assumidas por ela com fornecedores e clientes, desde o ponto de origem até o ponto de consumo. No Capítulo 4, seção 4.2.2, apresentam-se e discutem-se outras abordagens sobre o conceito de cadeia de suprimentos.

Conforme estabelecido anteriormente, de acordo com o sistema complexo analisado, a modelagem proposta pode assumir etapas além daquelas estabelecidas pela modelagem genérica. Essa etapa é um exemplo disso. Como o sistema complexo é uma cadeia de suprimentos, na fase 1 (Preparação), é necessário proceder ao mapeamento da cadeia de suprimentos da empresa focal para dar continuidade ao trabalho.

Normalmente, os trabalhos desenvolvidos com base em arranjos empresariais, como as cadeias de suprimentos, são aplicados em indústrias produtoras de bens tangíveis (automóveis, vinhos, calçados, computadores, etc.). Nesse trabalho, a cadeia mapeada é produtora de serviços, sem, por isso, ser menos ou mais importante que uma cadeia produtora

de bens tangíveis. Entretanto, apresenta peculiaridades que são inerentes ao setor de serviços. O serviço não pode ser estocado, por isso, não sendo vendido hoje, perde a possibilidade de venda futura. Em geral, no processo produtivo dos serviços, várias das atividades necessárias ao bom desempenho da empresa acontecem com a presença, ou mesmo com a participação do cliente, tornando estes serviços, uma atividade altamente customizada. Ocorre alta incidência de situações imprevistas, requerendo o exercício da capacidade de autonomia e improvisação dos funcionários na tomada de decisão, bem como o conhecimento e a integração aos propósitos da empresa. As pessoas são essenciais na execução dos serviços. A primeira aquisição de um determinado serviço é feita sem um prévio conhecimento real do que está sendo comprado pelo cliente, gerando-o grande expectativa e maior dificuldade em satisfazê-lo.

Todavia, alguns problemas inerentes à produção dos bens tangíveis são inexistentes na produção de serviços, como por exemplo, o descarte do produto após o uso; a logística de estocagem e transporte, já que o serviço é consumido no local da compra e não pode ser estocado; distribuidores e varejistas são termos dispensáveis na produção de serviços e geralmente, assumidos por uma única entidade. A busca da origem das matérias-primas, desde sua extração, representadas pelos membros de apoio da cadeia (ver Capítulo 4), é uma atividade acessória para a qualidade dos serviços prestados, dando-se ênfase aos relacionamentos mais próximos da empresa focal, que com os membros primários da cadeia.

A partir dessas peculiaridades, o mapeamento da cadeia de suprimentos do *Blue Tree Towers* – Florianópolis, centrou-se na cadeia imediata (fornecedores-empresa focal-clientes), membros diretos no processo de agregação de valor ao cliente final. Foi feito um mapeamento parcial da cadeia de suprimentos imediata, considerando todos os departamentos que formam o hotel e colaboram para o desempenho final do serviço prestado. A Figura 29 mostra, a partir da empresa focal, os relacionamentos com rede de empresas que atuam no primeiro nível, tanto a jusante como a montante da empresa focal. É observada a dinâmica das interações no sentido horizontal e vertical da cadeia. O nome das empresas com as quais o hotel se relaciona foram retirados para preservar informações, consideradas estratégicas pela empresa.

O principal mercado dessa cadeia é o turismo de negócios. A empresa focal se relaciona a montante da cadeia por meio dos departamentos: governança, recepção, financeiro, infra-estrutura e comercial, com a função de identificar e selecionar fornecedores de insumos e serviços que viabilizem a execução eficaz da missão do hotel. A empresa focal se relaciona a jusante da cadeia por meio do departamento comercial, o qual se relaciona com os clientes intermediários e através deles captam os clientes finais, que vêm ao hotel.

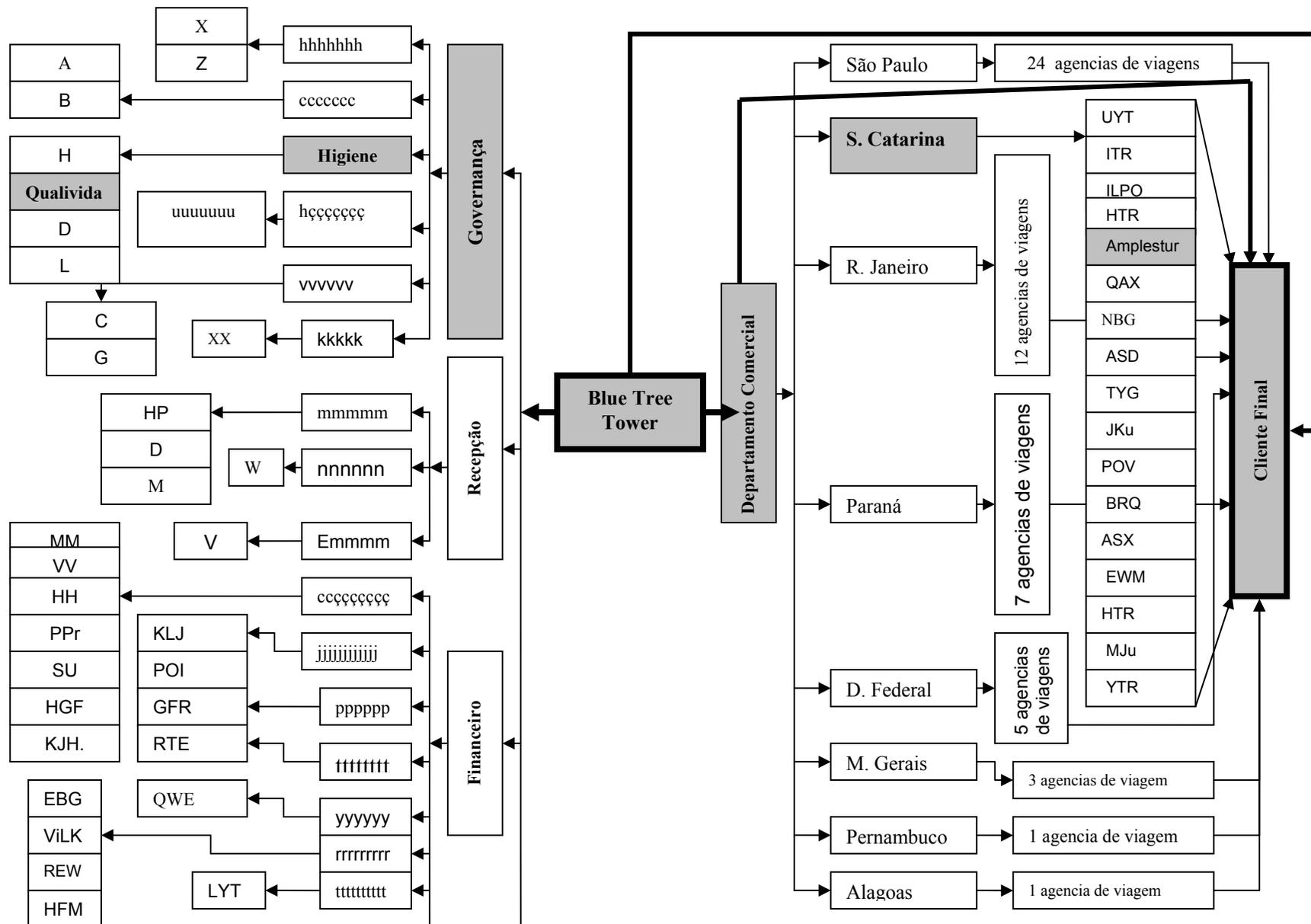


Figura 29: Mapeamento parcial da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal (continua...)

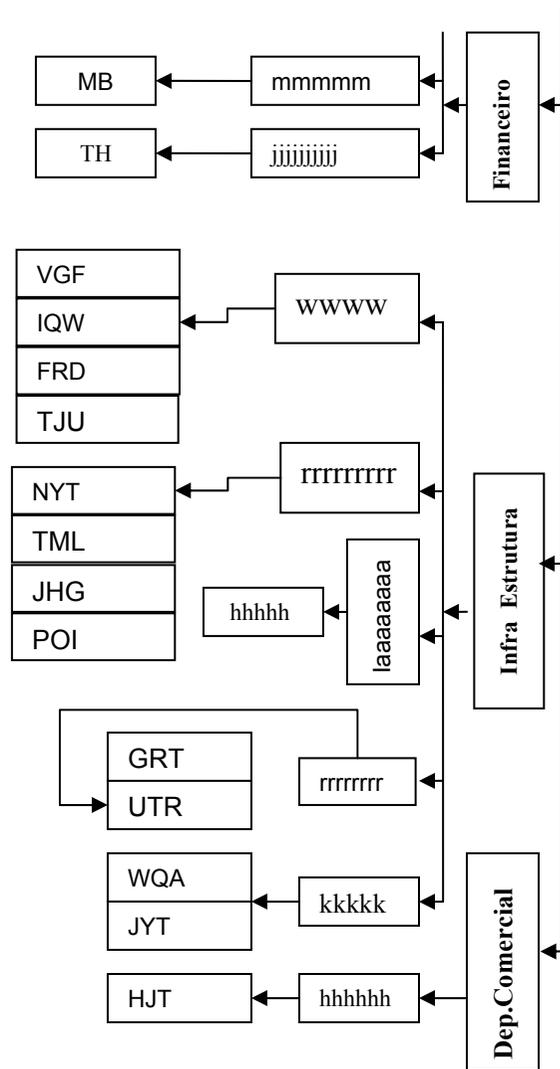


Figura 29: Mapeamento parcial da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal (...Conclusão)

Observando-se a Figura 29, percebe-se que mesmo no primeiro nível, a montante da cadeia de suprimentos da empresa focal, existem muitos membros de apoio, fornecedores de materiais auxiliares e serviços essenciais ao eficaz desempenho dos membros primários, tais como: materiais de escritório, flores, etc.

Etapa 5: Seleção dos relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal que serão considerados na modelagem.

A partir do mapeamento da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal, ilustrada na Figura 30, procedeu-se a determinação das partes desta cadeia que seriam trabalhadas para a validação da modelagem proposta. A escolha foi feita de acordo com a representatividade, com o tempo e com a qualidade dos relacionamentos para a empresa focal, bem como obedecendo aos interesses dela e a disponibilidade e interesse dos demais membros da cadeia em participar do projeto da modelagem proposta. A Figura 30 mostra as partes da cadeia que foram modeladas.

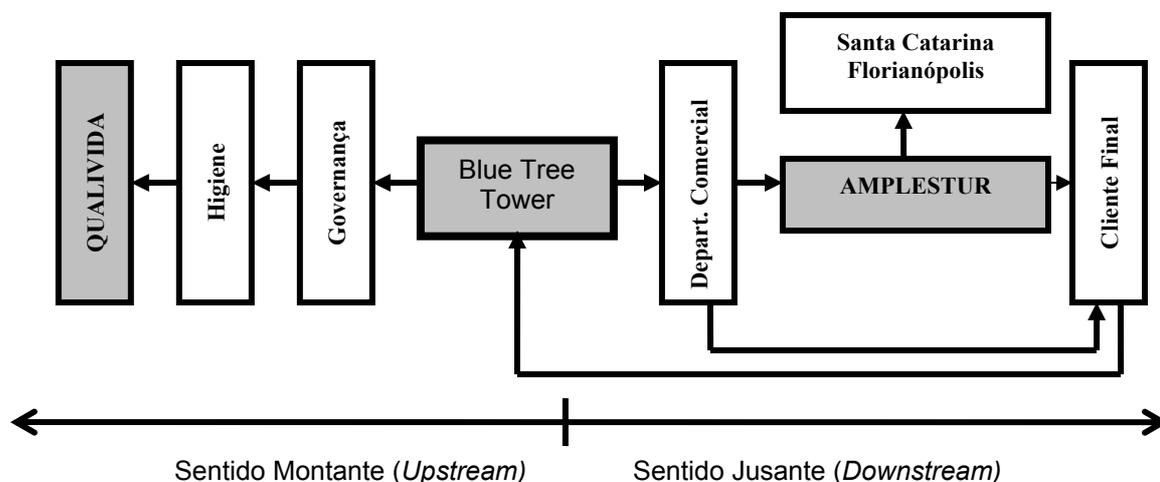


Figura 30: Relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal que serão modelados.

Em conformidade com o conceito de cadeia de suprimentos assumido neste trabalho (ver Etapa 4), a partir da empresa focal, selecionou-se a montante, uma empresa vinculada ao departamento Governança, fornecedora de produtos de higiene e limpeza, usados nos diversos ambientes do hotel (apartamentos, hall, elevadores, banheiros, etc) e mobiliários (colchões, estofados, utensílios, móveis, etc), a **Qualivida**. Selecionou-se também a jusante, uma agência de viagem, pertencente ao grupo de clientes localizados no Estado de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis, a **Amplestur**.

Etapa 6: Caracterização das empresas parceiras selecionadas para modelagem

Nesta etapa, descrevem-se as características das empresas fornecedora e cliente para proceder à análise dos relacionamentos conjuntos, conforme abordagem sistêmica e tendo como suporte teórico às Ciências da Complexidade.

— Qualivida

A Qualivida é uma empresa que produz e comercializa produtos de higiene e limpeza da marca *Freeland*. A marca incorpora um conceito diferenciado de higiene e limpeza domiciliar e empresarial, que inclui: treinamento, cuidados com meio ambiente e valorização dos funcionários que utilizam os produtos desta marca. A empresa começou como representante da marca americana *Freeland* no Brasil, posteriormente adquirindo a patente desta e passando a fabricar os produtos em território nacional.

A empresa está no mercado desde 1999 e possui uma estrutura muito flexível. Os processos de fabricação, armazenagem e distribuição dos produtos são terceirizados e concentrados em Porto Alegre-RS. Enquanto as vendas, suas *core competences*, são realizadas por meio de representações, abrangendo todos os Estados da região Sul. Existem oito representantes, sendo dois na cidade de Porto Alegre-RS; três na cidade de Curitiba-PR e três nas cidades Florianópolis e Balneário Camboriú-SC. Esta estrutura é suportada pelo departamento de administração, composto apenas de um administrador e de um contador terceirizado, que controlam as contas a receber e a pagar, o estoque, a distribuição e as vendas dos produtos.

A empresa não possui uma política de expansão. Prefere se manter nos mercados em que atua, conservando a qualidade dos produtos, a confiabilidade da marca e o eficaz treinamento realizado com os clientes, o que garante a perfeita utilização dos produtos. A empresa não investe em estratégias de marketing para aumentar as vendas, as quais aumentam em função do desempenho e dos benefícios dos produtos, fato que leva a indicação deles de um cliente para outro (boca-a-boca), gerando uma rede de indicações e compras.

As cinco principais linhas de produtos fabricados pela empresa são:

- 1) **Line Rose**: detergente desengraxante, suave, viscoso, super-concentrado, com atuação preferencial sobre resíduos orgânicos (vegetais ou animais).

- 2) **Line Yellow:** *sabão* detergente multiuso, transparente, eficaz na limpeza pesada. Elimina manchas e resíduos de origem mineral e arraste de bactérias.
- 3) **Line Blue:** limpador super-concentrado, econômico e de múltiplas utilidades de limpeza. Reaviva as cores, age rápido e tem alto poder de evaporação.
- 4) **Line Green:** limpador e encerador, líquido, viscoso, super-concentrado e econômico. É usado para dar brilho em pisos, carros, móveis e objetos similares.
- 5) **Multiuso:** poderosa combinação de dois produtos (*Rose + Yellow*), suprimindo a maioria das necessidades para uma limpeza segura, simples e eficiente.

Todos os produtos são concentrados e precisam ser diluídos em água nas proporções ideais para terem resultados satisfatórios. O efeito satisfatório dos produtos depende de vários fatores, tais como: diluição correta, duração e pressão manual em contato com a superfície do objeto e temperatura da água. Os produtos possuem as seguintes características: ecológicos, biodegradáveis, não corrosivos, não inflamáveis, reavivadores das cores, concentrados ativos, orgânicos, não tóxicos, não abrasivos, não cáusticos, econômicos e versáteis.

O treinamento oferecido pela empresa, sem custo adicional, tem o objetivo de instruir as pessoas que irão aplicar o produto para a correta diluição do concentrado (o que aumentará a rentabilidade do produto) e os requisitos necessários para o perfeito desempenho dele. Durante o treinamento, existe a preocupação em mostrar a necessidade de preservar a natureza das agressões dos produtos químicos e de valorizar o trabalho das pessoas que realizam as tarefas de limpeza, bem como orientá-las para que sempre usem luvas, evitando, assim, o desgaste das mãos e a possível contaminação pela pele. Esse treinamento é um diferencial competitivo da empresa.

A missão da empresa “ *é gerar limpeza a partir do uso de produtos ecológicos, que não agredam a natureza e nem afetem a saúde das pessoas que os utilizam, explicando como devem ser manuseados, além de colaborar para a utilização sustentável de produtos de limpeza.*”

A empresa possui aproximadamente trinta clientes corporativos, sendo em sua maioria hotéis. No caso da parceria com o *Blue Tree Towers* – Florianópolis, são efetuadas vendas mensais de três produtos de limpeza (multiuso, *green*, *blue*) e um purificador de ar. Essa parceria iniciou-se no ano de 2000 e vigora com sucesso para ambas as partes.

— Amplestur

A Amplestur é uma empresa de prestação de serviços turísticos, que foi fundada em 1989 e está em atividade desde 1993, em Florianópolis-SC. É uma agência de viagem que atua como prestadora de serviços de consultoria em viagens, inclusive câmbio de moedas. A agência é inscrita na ABAV (Associação Brasileira de Agências de Viagens) e no IATA (*International Air Transport Association*), concedendo-lhe a possibilidade de emitir bilhetes aéreos de qualquer companhia, trabalhar com todas as operadoras turísticas, locadoras de veículos, redes hoteleiras, navios e trens, no Brasil e no exterior.

Desde 1998, a empresa classifica-se entre as cinco maiores agências de Florianópolis. Possui uma estrutura flexível, na qual a estrutura hierárquica de funcionamento é mais horizontal que vertical, em decorrência do maior número de funcionários participarem da empresa como sócios. No total são oito funcionários, dos quais sete são sócios.

Os serviços oferecidos pela Amplestur não se limitam a captar clientes para eventos e hotéis ou a vender passagens aéreas. A empresa busca se diferenciar prestando serviço de consultoria em viagens, disponibilizando aos clientes os serviços necessários a sua viagem, as peculiaridades do local de destino, o câmbio de moedas, no caso de negócios no exterior, documentos necessários as viagens, os tipos de hotéis mais apropriados aos interesses do turista, locação de veículos, possibilidade de verificarem os dados de suas viagens on-line, entre outros serviços. Os negócios são feitos diretamente no balcão de atendimento, aos clientes que se direcionam à agência, aos clientes cadastrados que são habituais na compra de serviços, entre agências de viagens, com operadores turísticos captando clientes para eventos. Os preços são diferenciados em cada relacionamento.

A missão da empresa é “ *contemplar o cliente com um atendimento direto pelos seus proprietários, que atuam na linha de frente, solidificando a crença de ser a valorização do cliente o fator decisivo para o crescimento do empreendimento no mercado.*”

A empresa possui no seu *portfólio* de negócios, setenta hotéis conveniados em Florianópolis. No caso do relacionamento com o *Blue Tree Tower* - Florianópolis, a interação ocorre por meio da captação dos turistas que vêm a negócios ou para participarem de eventos, direcionando-os ao referido hotel. A Amplestur desenvolveu alguns instrumentos eletrônicos de transferência de informações, para que as transações entre si e seus parceiros, sejam executadas com maior agilidade e eficiência; porém, nem sempre essa iniciativa é correspondida pelos parceiros. Com o *Blue Tree Tower* – Florianópolis, a transferência de dados acontece por meio eletrônico, nem sempre sendo usados os mesmos documentos

eletrônicos. Os relacionamentos entre as duas empresas (focal e cliente) iniciaram-se no ano de 2000 e se mantêm, com satisfação de ambas as partes.

Etapa 7: Relacionamentos entre as três empresas descritas

Como apresentado nas seis etapas anteriores, as três empresas envolvidas são o **Hotel Blue Tree Tower – Florianópolis**, empresa focal do estudo; a **Qualivida**, empresa fornecedora de produtos de higiene e limpeza, localizada no primeiro nível a montante da cadeia e a **Amplestur**, uma das agências de viagem que captam clientes para o hotel. Esses relacionamentos interempresariais são vinculados às necessidades do hotel, que nesse caso exerce a função de líder da cadeia. Tanto a Qualivida como a Amplestur atendem aos requisitos do hotel. Apesar da Amplestur estar muito próxima dos clientes finais e por isso, exercer um grande poder nessa cadeia, o hotel está duplamente próximo aos clientes, tanto dos intermediários (agências de viagens, empresas), quanto dos finais, fazendo aumentar seu poder na cadeia. É importante destacar que, os relacionamentos na cadeia são, simultaneamente, de autonomia e de dependência, pois as empresas são livres para se desvincularem ao mesmo tempo em que precisam de clientes e fornecedores para se manterem competitivas. No caso de empresas pequenas, o fato de serem membros de empresas maiores e bem posicionadas no mercado, lhes dar credibilidade e visibilidade.

Os relacionamentos a montante da cadeia de suprimentos da empresa focal visam provê-la com insumos e serviços necessários ao adequado atendimento das necessidades dos clientes. No mapeamento feito, considerou-se apenas um nível, a partir da empresa focal, mas poderiam ser identificados até o quarto nível. Os relacionamentos além do primeiro nível, não representam diferencial para a empresa focal. A atenção está focada no primeiro nível, criando uma relação de confiabilidade e qualidade com os fornecedores diretos. O departamento de infra-estrutura do hotel terceiriza os relacionamentos ligados a manutenção para se concentra em atender com mais rapidez algumas solicitações, por exemplo, da governança.

A jusante os relacionamentos se estendem até o cliente final. No caso dos serviços hoteleiros, existe um *feedback* muito importante e que deve ser ressaltado. O hotel, inicialmente, se relaciona com os clientes intermediários, vendendo sua imagem e seus serviços para agências de viagens e empresas que, por sua vez, divulgam os serviços e captam os clientes para o hotel. Isso acontece num movimento contínuo e dinâmico, como ilustrado nas Figuras 29 e 30.

Nessa primeira fase do trabalho, o objetivo foi preparar os agentes envolvidos para as fases seguintes, além de estabelecer as características do(s) sistema(s) que estão sendo analisados. Desta forma, é possível identificar o sistema modelado com os sistemas complexos e assim passar a denominá-lo **sistema complexo**.

Uma cadeia de suprimentos pode ser considerada um sistema complexo, porque apresenta todos os requisitos necessários para receber tal designação.

- Possui duas ou mais partes diferentes;
- É um sistema aberto e depende das conexões para permanecerem competitivos no mercado;
- Uma parte não pode ser compreendida sem a compreensão de suas interações;
- As partes são beneficiadas pelas interações com o todo e vice-versa;
- Dos interrelacionamentos surgem comportamentos novos e imprevistos, diferentes dos planejados previamente;
- O controle total da cadeia é difícil de ser conseguido, por causa dos comportamentos emergentes que surgem no decorrer do seu funcionamento, bem como a dependência de partes e todo;
- Funciona num ambiente que combinam ordem e desordem. Por um lado, busca os relacionamentos integrados para conseguir estabilidade com uma estrutura mais flexível, ágil e dinâmica e, por outro, a possibilidade de vantagem competitiva pelos *feedbacks* obtidos das interações;
- É composto por muitos agentes inteligentes que tomam decisões e agem com base em informações parciais sobre todo o sistema. Esses agentes são capazes de mudarem as regras de decisão e ação, com base em informações adquiridas durante o processo da tomada de decisão;
- Vive num ambiente de incerteza, o mercado;
- Acontecem muitos *loops de feedbacks* não intencionais;
- Possui estrutura que englobam várias escalas, evidenciadas pelos níveis de interação na cadeia;

- Evolui na interface entre a competição do mercado e a cooperação dos envolvidos na cadeia;
- Possui capacidade de se organizar internamente para se ajustar as perturbações oriundas do mercado. Na formação dos arranjos empresariais, as cadeias de suprimentos mostram a busca das empresas para se tornarem mais resistentes e adaptativas às exigências do mercado;
- Possui capacidade de memória. A cadeia pode armazenar informações que auxiliem na tomada de decisão conjunta;
- A cadeia de suprimentos é um sistema que evolui para estágios de complexidade mais ou menos complexos, dependendo das conexões que estabelecem.

6.1.2 FASE 2: DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EVOLUÇÃO EM COMPLEXIDADE DAS EMPRESAS

A partir da caracterização da empresa focal e da identificação das empresas membros selecionadas para a validação da modelagem, descrevem-se as características comuns à cadeia de suprimentos e aos sistemas complexos. Na seqüência, procede-se à determinação do nível de evolução em complexidade que possui cada empresa da cadeia.

Etapa 1: Identificação do nível de evolução em complexidade da empresa focal e das empresas membros da cadeia de suprimentos

Para determinar o nível de evolução do sistema complexo, que nesse caso é parte da cadeia de suprimentos imediata do Hotel *Blue Tree Towers* - Florianópolis, criou-se uma escala de nove níveis de complexidade, nos quais as empresas podem se enquadrar (ver Capítulo 5, seção 5.1.2). Essa escala foi construída a partir das características dos sistemas complexos. Os níveis de complexidade e as características que permitem inferir em que nível de evolução está a empresa, têm como base o referencial teórico detalhado no Capítulo 2, desse trabalho. A validação dos níveis de complexidade e das características que lhe foram

atribuídas, foi obtida por meio da aplicação de entrevistas semi-estruturadas e da observação direta, ilustrado no Apêndice A.

Os Quadros 31, 32 e 33 apresentados na seqüência, mostram o nível de evolução em complexidade da empresa focal e das empresas membros (Fornecedora e Cliente) que compõem a sua cadeia de suprimentos imediata, selecionadas para a validação da modelagem proposta. O objetivo é identificar se as empresas membros, em conjunto com a empresa focal, possuem simetria e sinergia entre si, condições essenciais para o início de uma gestão conjunta, como os arranjos empresariais.

Pode-se observar no Quadro 31 que, apesar da cadeia de suprimentos imediata ter sido definida a partir da empresa focal desse trabalho, esta é a que apresenta o nível de complexidade mais baixo, em comparação as duas empresas selecionadas para validar a modelagem proposta. O Quadro 32 apresenta as características da empresa fornecedora, a qual possui o nível de complexidade 8 e o Quadro 33 sumariza as características da empresa cliente, com nível de complexidade 7. O diagnóstico mostrou que as empresas da cadeia estão em níveis de evolução em complexidade diferentes, não havendo uniformidade de comportamentos, nem de níveis de complexidade. Esta constatação confirma a hipótese de que, em cada nível de complexidade emergem comportamentos próprios.

Empresa Focal Características	Nível de Complexidade Nível 5: Estrutura com especialização de funções Comportamentos Observados
Estrutura funcional	Possui uma estrutura hierárquica forte, ao mesmo tempo em que busca flexibilidade e integração. O Gerente do hotel se reporta a um Gerente Regional, que está diretamente relacionado a Diretoria de Operações da corporação e este a Vice-Presidência de Operações que, por sua vez se reporta à Presidência da rede. Essa hierarquia formal pode ser reduzida, dependendo da urgência na tomada de decisão. Dentro do hotel os supervisores dos departamentos se reportam ao Gerente Geral para eventuais tomadas de decisões que estão fora da rotina padrão estabelecida pela rede <i>Blue Tree Hotels</i> . Essa rotina padrão estabelecida é adaptada à realidade de cada hotel e os funcionários têm autonomia para alterá-la, conforme o surgimento de situações imprevistas. As funções e as atividades executadas são bem definidas e diferenciadas. Os funcionários têm consciência que o desempenho da tarefa de cada um depende do desempenho dos demais.
Reconhecimento, captação e processamento da informação	A empresa possui uma grande variedade de funções e atividades, que geram muitas informações além daquelas descritas nos formulários de rotina padrão estabelecidos pela rede. Não existe um departamento especializado em formalizar as informações geradas no decorrer do funcionamento da empresa, ficando sem registro muitas informações importantes relativas às interações entre os departamentos. Em relação a captação de informações externas às fronteiras da empresa, existe a percepção da importância dos relacionamentos com outras empresas, as quais formam a cadeia de suprimentos, porém os registros desses relacionamentos são praticamente inexistentes. Quanto a disseminação das informações, há uma seleção criteriosa das que podem ser de conhecimento do nível operacional, sendo que a maioria delas se restringem ao nível estratégico.

Quadro 31: Diagnóstico do nível de evolução da empresa focal (Continua.....)

Reconhecimento compreensão de regularidades e aleatoriedade	A empresa consegue perceber padrões de regularidade no seu funcionamento e prospectar os períodos mais prováveis de imprevisibilidade. Dos padrões percebidos, surgem às rotinas estabelecidas e da consciência da falta do controle total, surgem as alternativas de ações nestas situações incertas e imprevisas. Os agentes possuem um grau de autonomia limitado a certos patamares da tomada de decisão, acima do qual é necessário consultar um funcionário de um nível hierárquico superior.
Esquema dominante	É norteado por quatro preceitos básicos: Qualidade no serviço prestado; criação de estilo próprio (diferenciado da concorrência); estratégia agressiva de expansão da rede e retorno do investimento para os acionistas. Com esses direcionadores, a empresa é guiada por atratores periódicos. Este tipo de atrator possibilita aos agentes reconhecer que a empresa é um sistema dinâmico que surgiu de um estado inicial pré-determinado, mas não associa seu equilíbrio ao retorno deste estado inicial que lhe deu origem. No decorrer de sua trajetória, os atratores são ajustados aos interesses da empresa, com atuação limitada e regularidade na repetição das estratégias e propósitos assumidos.
Condições internas intermediárias ordem-desordem	A empresa tem consciência que não pode impedir as imprevisibilidades e as desordens geradas no decorrer de seu funcionamento. É inerente ao setor serviço à imprevisibilidade, dado que muitos processos importantes são realizados com a presença do cliente. No entanto, busca-se o equilíbrio dinâmico entre ordem e desordem. Sabe-se que, na desordem completa, não existe a possibilidade de formação de estrutura e na ordem completa, não há espaço para a emergência de novas estruturas, idéias, comportamentos e inovações. Em outras palavras, não há variação. Apesar de ter consciência da convivência entre ordem e desordem, os funcionários demonstram dificuldade em lidarem com essa situação no dia-a-dia, havendo uma tendência a seguir as rotinas padronizadas, que em muitos casos não funcionam adequadamente.
Mecanismo de controle interno do sistema	A empresa possui restrições internas que funcionam como mecanismos de controle para sua evolução. A principal restrição é a própria percepção que os gestores e supervisores possuem do funcionamento interno da empresa, bem como dos relacionamentos com seus parceiros comerciais e com o seu ambiente mercadológico. Existem preocupações com a integração e cooperação interna a medida que demonstram medo em transferir informações dentro da própria empresa e com os parceiros da sua cadeia de suprimentos. A empresa é monitorada também por um controle legal que é exercido pela hierarquia de poder existente na rede.
Escala de análise para a qual o sistema dirige sua atenção.	A empresa percebe a necessidade de se integrar a outras empresas para fortalecer a sua estrutura, ganhar flexibilidade e se posicionar no mercado, mas possui uma visão limitada das fronteiras de sua atuação. Evidencia preocupação com a integração interna, buscado através das reuniões diárias entre Gerencia e Supervisores, demonstrar a importância da colaboração interna. Contudo, essa prática nem sempre é dominante, podendo ser percebido um clima de competição interna. Nos relacionamentos com outras empresas formam conexões com relações de poder e relações transacionais que se repetem ao longo do tempo com algumas empresas; e com outras se limitam a relacionamentos contratuais e de curto prazo. A intenção é mudar para relacionamentos cooperativos e de longo prazo. Nesse nível, a empresa se preocupa mais com o seu sucesso do que com o sucesso conjunto com seus parceiros.
Resumo: A empresa focal da cadeia de suprimentos está no nível 5 de complexidade, conforme comportamentos levantados. Nesse nível, os sistemas apresentam similaridades com os sistemas mal adaptativos descritos por Gell-Mann (1996). Esses sistemas percebem as mudanças no ambiente, mas seus esquemas internos se alteram lentamente; muitas vezes não acompanham a rapidez das mudanças no ambiente e se desequilibram internamente, fato que os tornam vulneráveis as perturbações do mercado. Os sistemas são abertos e possuem médio grau de cooperação.	

Quadro 31: Diagnóstico do nível de evolução da empresa focal (...Conclusão)

Fornecedora Características	<p style="text-align: center;">Nível de Complexidade Nível 8: Estrutura capaz de auto-organização Comportamentos Observados</p>
Estrutura funcional	A empresa possui estrutura hierárquica descentralizada, muito horizontalizada, flexível e integrada. A produção é terceirizada para que a empresa possa se concentrar nas suas <i>core competences</i> representadas pela distribuição dos produtos e pelo treinamento oferecido. Os agentes reconhecem que a empresa é formada por diferentes partes e que a sua sobrevivência está diretamente ligada a integração interna das partes e a suas conexões com outras empresas, bem como que o seu funcionamento deve gerar melhoria a vida das pessoas e sustentabilidade ao meio ambiente.
Reconhecimento, captação e processamento da informação	A empresa é ágil em perceber as mudanças do ambiente e adequar sua organização interna a essas mudanças. Ela possui registros internos que retêm a trajetória de funcionamento da empresa, ressaltando os erros e os acertos na tomada de decisão. As informações são compartilhadas pelos seus departamentos, as quais facilitam e agilizam o processo variação-seleção. Esse processo consiste em eliminar os comportamentos instáveis que vão surgindo no decorrer do funcionamento da empresa e conservar as comportamentos estáveis.
Reconhecimento compreensão de regularidades e aleatoriedade	A empresa, além de reconhecer e descrever os padrões regulares que emergem quando funciona e interage com os seus parceiros e com o ambiente, compreende as causas do surgimento desses padrões, podendo discernir se são benéficos ou prejudiciais à evolução da empresa. A empresa está preparada para as imprevisibilidades que surgem no decorrer de seu funcionamento, dando autonomia aos funcionários para oferecerem as melhores alternativas aos clientes, dentro de sua margem de lucratividade.
Esquema dominante	É norteado por quatro premissas básicas: produzir e vender produtos ecológicos que não agridam a natureza; produtos que não afetem negativamente a saúde das pessoas; valorize o ser humano e contribua para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. As premissas do esquema dominante conduzem a uma bacia de atração norteada por atratores estranhos, os quais possibilitam à empresa, buscar o equilíbrio por meio de infinitas possibilidades de atuação, reconhecendo o espaço que possui no mercado e explorando várias maneiras de se diferenciar.
Condições internas intermediárias ordem-desordem	A empresa reconhece seu poder de auto-organização. Ela reconhece e usa a seu favor a necessidade de interagir com outras empresas e com o ambiente, armazenando informações que lhe torna diferenciada da concorrência. A empresa padroniza seu processo produtivo e o treinamento oferecido aos clientes, mas oferece total autonomia aos funcionários para lidar com as imprevisibilidades nas vendas. O objetivo é atingir o reconhecimento do mercado, sem uma meta audaciosa de expansão, mas sustentada na extrema qualidade do produto e do serviço oferecido.
Mecanismo de controle interno do sistema	A empresa estipula regras que funcionam como mecanismo de controle interno. Essas regras são de mútuo monitoramento; funcionam como subsistema de controle, que beneficia os funcionários que seguem as regras estabelecidas, aperfeiçoando-as e adequando-as necessidades dos clientes e pune os funcionários que não colaboram para a execução das regras estabelecidas, podendo denegrir a imagem da empresa. Esse subsistema contribui para que a empresa acompanhe se os padrões estabelecidos são passíveis de serem seguidos e, se gera evolução a empresa. Os mecanismos de controle do mercado também afetam a empresa.
Escala de análise para a qual o sistema dirige sua atenção.	A empresa é orientada pela cooperação e pela integração. Por isso sua escala de análise envolve o meio ambiente e sua rede de relacionamentos. Para intervir nessas escalas de análise, a empresa usa como estratégias a integração, a cooperação, a autonomia e o compartilhamento de informações. O objetivo é a co-evolução, contribuição para a preservação do meio ambiente e a valorização do ser humano.
Resumo: É uma das empresas fornecedoras da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal. Está no nível 8 de complexidade, conforme os comportamentos levantados. Nesse nível, os sistemas apresentam similaridades com os sistemas complexos adaptativos descritos por Gell-Mann (1996). Esses sistemas aprendem com as interações, percebem as mudanças no ambiente e seus esquemas internos se alteram rapidamente, acompanhando a agilidade das mudanças no ambiente. Por isso, se mantêm equilibrados internamente, fato que os tornam estáveis e aptos a permanecerem eficazes frente as perturbações impostas pelo mercado. Esses sistemas são abertos, inteligentes e possuem alto grau de cooperação.	

Quadro 32: Diagnóstico do nível de evolução da empresa fornecedora

Empresa Cliente Características	Nível de Complexidade Nível 7: Estrutura capaz de ação e reflexão Comportamentos Observados
Estrutura funcional	A estrutura da empresa é flexível e integrada, apresentando relacionamentos funcionais mais horizontais que verticais, em decorrência da maioria dos funcionários serem sócios do negócio. Os funcionários têm consciência de que a burocracia é um fator negativo para o bom desempenho das tarefas e trabalham para reduzi-la. A interação entre os setores é visível, a qual facilita a coordenação e execução das tarefas.
Reconhecimento, captação e processamento da informação	A empresa reconhece a necessidade e a importância de ter uma memória de sua trajetória, mas ainda não possui registros formalizados. As informações são distribuídas e compartilhadas por todos os departamentos da empresa. A empresa capta informações dos seus relacionamentos e do seu ambiente com o objetivo de se tornar mais forte e resistir às imposições do mercado e da concorrência. Além disso, tem consciência de que ao funcionar e interagir, gera novos comportamentos, alguns devem ser conservados e outros devem ser eliminados para garantir a integridade da empresa, bem como suas relações com outras, as quais se relacionam.
Reconhecimento compreensão de regularidades e aleatoriedade	A empresa consegue separar as regularidades, observando as repetições e os fatos ocasionais que afetam consideravelmente o seu desempenho nas relações com os parceiros, com o mercado e com a concorrência. Os esquemas para a tomada de decisão são baseados nessas percepções, contudo, o grau de autonomia dos funcionários é limitado às decisões operacionais.
Esquema dominante	O esquema dominante da empresa é norteado por quatro premissas básicas: atendimento rápido e direto ao cliente; os proprietários estarem na linha de frente do negócio; valorização do cliente e crescimento do empreendimento no mercado. Essas premissas direcionam a empresa para uma bacia de atração regida por atratores estranhos, pelo fato dela ter consciência de sua posição no mercado, das imprevisibilidades que podem surgir e da incerteza do ambiente, sabendo também que possui infinitas possibilidades para encontrar o equilíbrio dinâmico.
Condições internas intermediárias ordem-desordem	A empresa reconhece a capacidade de aprender. Ela analisa sua estrutura e percebe que é permeada por um misto de previsibilidade e transformações. No entanto, entende isto como algo positivo, criando possibilidades de inovação e criatividade na execução das tarefas. Percebe que no decorrer de seu funcionamento, formam subsistemas estáveis e instáveis e busca identificar os padrões que a leva a instabilidade e os que a leva a estabilidade.
Mecanismo de controle interno do sistema	A empresa possui como mecanismos de controle, as restrições internas, o controle legal e os mecanismos que regulam o mercado. As restrições internas são representadas pelas limitações internas que impedem o ajuste da organização interna às perturbações do ambiente, isto é, apesar da empresa possuir um alto nível de evolução, em determinados momentos, age de modo incoerente com suas concepções teóricas. Relaciona-se com parceiros que reduzem a sua capacidade de executar as tarefas com eficiências, por exemplo. O controle legal é exercido por situações criadas fora do ambiente interno da empresa, mas dentro do setor ao qual ela pertence e que afetam seu desempenho. Os mecanismos de controle do mercado afetam todas as empresas.
Escala de análise para a qual o sistema dirige sua atenção.	A empresa funciona alimentada pelo fluxo de informações captados do ambiente externo através dos seus relacionamentos e do comportamento exibido pelo setor no mercado. A autonomia, a cooperação, o compartilhamento de informações e a integração são estratégias empregadas para que permaneça no mercado com possibilidade de expansão e reconhecimento do setor turístico. A empresa trabalha com o objetivo de se tornar, cada vez mais, integrada, levando as empresas a ela associadas a co-evolução.
Resumo: É uma das empresas clientes da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal. Está no nível 7 de complexidade, conforme os comportamentos levantados. Nesse nível, os sistemas apresentam similaridades com os sistemas complexos adaptativos descritos por Gell-Mann (1996). Esses sistemas aprendem com as interações, percebem as mudanças do ambiente e seus esquemas internos se alteram rapidamente, acompanhando a rapidez das mudanças no ambiente. Por isso se mantêm equilibrados internamente, fato que os tornam estáveis e aptos a permanecerem eficazes frente as perturbações impostas pelo mercado. Esses sistemas são abertos, inteligentes e possuem alto grau de cooperação.	

Quadro 33: Diagnóstico do nível de evolução da empresa cliente

Na seqüência, apresenta-se a fase 3, na qual verificam-se a simetria e a sinergia entre as três empresas, observando a necessidade de tornar seus comportamentos compatíveis para a gestão integrada da cadeia de suprimentos.

6.1.3 FASE 3: TORNAR OS NÍVEIS DE EVOLUÇÃO DAS EMPRESAS COMPATÍVEIS

Na validação desenvolvida, trabalham-se três empresas componentes de uma cadeia de suprimentos. Inicia-se pela empresa focal, detalhando sua rede de relacionamentos e, posteriormente, selecionando duas outras empresas, uma a jusante e outra a montante da empresa focal, procedendo-se à validação da modelagem proposta. Como destacado anteriormente, na fase 1, a seleção das empresas membros foi feita conforme o interesse delas em participar da modelagem, da estabilidade das parcerias com a empresa focal, do desejo comum em firmar parcerias mais colaborativas e permanentes e do interesse em criarem relacionamentos com mais compartilhamento de informações e confiança mútua.

Sendo assim, as empresas foram analisadas juntas para identificar se, os níveis de evolução em complexidade eram compatíveis. A compatibilidade é analisada considerando que, os três sistemas tratados são empresas, as quais pertencem à ordem dos sistemas complexos sociais. Dessa forma, não se pretende verificar se sistemas de ordens diferentes podem ser integrados, apenas identificar se as características, as capacidades e as propriedades das empresas apresentam similaridades que viabilize a gestão integrada delas. Na descrição dessas empresas, percebeu-se que os comportamentos, sumarizadas nos Quadros 31, 32 e 33 demonstram níveis diferentes de evolução em complexidade e nesse caso específico, é preciso desenvolver iniciativas que levem a gradual compatibilização dos comportamentos para que as empresas possam ser adequadamente integradas. A partir desta constatação, levantaram-se as principais compatibilidades e incompatibilidades existentes entre as empresas. O objetivo foi identificar se é possível funcionarem integradas, apesar de estarem em níveis de evolução diferentes. Na seqüência, o Quadro 34 ilustra essas compatibilidades e incompatibilidades.

Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das empresas analisadas

Observa-se no Quadro 34, que as empresas fornecedora e cliente apresentam mais similaridades e sinergias entre si, que a empresa focal em relação a essas duas empresas. Como a empresa fornecedora e a empresa cliente estão em níveis de evolução em complexidade mais próximos (níveis 8 e 7), apresentam maior sinergia entre seus comportamentos e suas características. Ressalta-se que, apesar do mapeamento total da cadeia ter sido feito a partir da empresa focal, a qual assume o posto de empresa líder dessa cadeia de suprimentos imediata, constatou-se que esta apresenta o menor nível de evolução em complexidade (nível 5) quando comparada às duas empresas selecionadas para a validação da modelagem proposta.

A descrição das compatibilidades e das incompatibilidades das três empresas selecionadas, ilustradas no Quadro 34, é um indicador das diferenças entre os níveis de evolução em complexidade das empresas integrantes da cadeia de suprimentos, bem como da possibilidade de funcionarem adequadamente integradas. Indica também, o ponto de partida para a continuidade da modelagem proposta, pois dependendo das disparidades entre os níveis de evolução das empresas, é necessário fazer ajustes nos aspectos incompatíveis existentes entre as referidas empresas.

A lógica teórica da formação dos arranjos empresariais, tal como as cadeias de suprimentos, é a integração, o compartilhamento de informações, a cooperação e as relações de mútua confiança. O objetivo da formação desses arranjos é ganhar agilidade, flexibilidade e uma estrutura mais forte e adaptativa para resistir às imposições do mercado. A associação de empresas que compartilham objetivos comuns, aumenta a capacidade da estrutura conjunta, se manter estável e capaz de perceber com maior precisão, as mudanças no ambiente e, dessa forma, ajustar sua organização interna a essas mudanças, num processo de contínuo monitoramento.

Na prática, a lógica teórica de formação das cadeias de suprimentos nem sempre ocorre conforme descrita no parágrafo anterior. Por isso, a modelagem proposta, sugere a fase 3 (detalhada no Capítulo 5, seção 5.1.3), apresentada no Quadro 34, que indica, através do levantamento de algumas características, se as empresas estão aptas a trabalharem conjuntamente.

Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das três empresas analisadas			
Características	Cadeia de Suprimentos Imediata		
	Empresa Fornecedora	Empresa Focal	Empresa Cliente
Estrutura funcional	Estrutura Hierárquica descentralizada, horizontalizada, flexível e integrada. 	Hierarquia Funcional Vertical e Centralizada. 	Estrutura Hierárquica descentralizada, horizontalizada, flexível e integrada. 
	Compatível	Incompatível	Compatível
Reconhecimento, Captação e Processamento das Informações.	Possui registros internos da trajetória da empresa, ressaltando os acertos e os erros no processo de tomada de decisão. As informações são compartilhadas pelos departamentos, as quais facilitam o reconhecimento das estruturas estáveis e das estruturas instáveis formadas dentro dela e com sua rede de relacionamentos. 	Faltam registros das informações geradas pelas interações entre os departamentos e com sua rede de relacionamentos. Há uma seleção criteriosa das informações que podem ser compartilhadas com o nível operacional e as informações que são restritas ao nível estratégico. 	Reconhece a necessidade de possuir uma memória de sua trajetória, mas ainda não possui registros formais. As informações são compartilhadas por todos os departamentos. Ela está atenta às mudanças do ambiente para se adequar a elas, buscando identificar as estruturas estáveis e as estruturas instáveis. 
	Compatível	Incompatível	Compatível
Reconhecimento Compreensão de regularidades e aleatoriedade	Percebe e registra os padrões de regularidade que emergem quando a empresa funciona e interage com a sua rede de relacionamentos e com o ambiente. Ela compreende as causas do surgimento dos padrões, destacando se tais causas são benéficas ou prejudiciais a evolução da empresa. As imprevisibilidades são compensadas pelo alto grau de autonomia atribuído aos funcionários. 	Percebe padrões de regularidade no seu funcionamento e prospecta períodos mais prováveis de imprevisibilidade. A partir das regularidades criam-se as rotinas e dá consciência das situações imprevistas, autonomia limitada a determinados patamares de tomada de decisão (nível operacional com restrições). 	A partir da repetição dos fatos, reconhece os padrões e eventos ocasionais, que ocorrem nas interações dentro da empresa e com sua rede de relacionamentos. A partir desses reconhecimentos, criam-se esquemas para a tomada de decisão. O grau de autonomia dos funcionários é limitado as decisões operacionais. 
	Compatível	Incompatível	Incompatível
Esquema dominante	Norteados pela produção de produtos ecológicos que preservem a natureza; a saúde das pessoas; valorize o ser humano e colabore com uma produção sustentável. A empresa é direcionada por atratores estranhos. Ela não se limita a padrões de atuação pré-estabelecidos, reconhece o mercado que possui e o explora de várias maneiras em busca do equilíbrio. 	Norteados pela qualidade do serviço prestado, criação de estilo próprio, crescimento da rede e retorno para os acionistas. A empresa é guiada por atratores periódicos, por mudarem de acordo com os interesses dela, mas possui um raio de atuação limitado e repetição das estratégias usadas, em outras ocasiões com sucesso. 	Norteados pelo atendimento rápido e direto ao cliente, negócio dirigido diretamente pelos proprietários, valorização do cliente e crescimento no mercado. A empresa é guiada por atratores estranhos. Sabe a posição que ocupa no mercado e reconhece as várias possibilidades que possui para encontrar o equilíbrio. 
	Compatível	Incompatível	Compatível

Quadro 34: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das três empresas analisadas (Continua....)

Condições internas intermediárias ordem-desordem	A empresa é capaz de auto-organização. Reconhece e usa a seu favor a necessidade de interagir com outras empresas e com o ambiente, gerando registros dessas interações. Cria um processo produtivo e um treinamento padronizado, a medida que dá autonomia aos funcionários com as imprevisibilidades das vendas. 	A empresa é consciente de que ordem e desordem são geradas no decorrer da execução das atividades e que não adianta tentar excluir a imprevisibilidade, por ela ser inerente a produção dos serviços. Nas observações diretas realizadas e nas entrevistas feitas, os funcionários demonstram dificuldade em lidar com as imprevisibilidades e há uma tendência a seguir a rotina padrão nas situações imprevistas. 	A empresa percebe que sua estrutura é formada por um misto de invariância e transformação e que, esse processo gera subsistemas estáveis e instáveis, buscando identificar os padrões que levam a estabilidade e a instabilidade. Entende essa condição como vantagem, sendo o espaço ideal para a emergência da inovação e da criatividade. 
	Compatível	Incompatível	Compatível
Mecanismos de controle interno do sistema	Possui regras internas de mútuo monitoramento, as quais beneficiam os funcionários que as seguem, aperfeiçoando-as e adequando-as às necessidades dos clientes e identifica os funcionários que as transgredem, podendo denegrir a imagem da empresa. Também é controlada pelos mecanismos que regem o mercado (leis da oferta e procura, concorrência, etc). 	Restrições internas representadas pela visão do Gerente e dos Supervisores sobre o funcionamento interno da empresa e os relacionamentos com os seus parceiros comerciais e com o mercado. Percebe-se medo na transferência de informações dentro da empresa e fora dela com os parceiros comerciais. A empresa também é monitorada por um controle legal exercido pela hierarquia de poder existente na rede. 	Restrições internas, representadas pelos relacionamentos com parceiros comerciais que reduzem a sua capacidade de executar as tarefas com eficiência. É afetada pelo controle legal, que engloba normas, as quais regulam o setor e mecanismos que regem o mercado. 
	Incompatível	Incompatível	Incompatível
Escalas de análise para a qual o sistema dirige sua atenção.	Meio ambiente, mercado, empresa e rede de relacionamentos. Usa como estratégias para intervir nessas escalas, a autonomia, a cooperação, o compartilhamento de informações e a integração. Busca evoluir por meio da integração com outras empresas, da co-evolução e da sustentabilidade gerada pela sua produção. 	Empresa e relacionamento interno com a rede da qual faz parte. Existe um clima de competição interna. Os relacionamentos com sua cadeia de suprimentos exibem comportamento de controle, de poder e transacional. A empresa busca a formação de uma cadeia mais colaborativa e com interações confiáveis e de longo prazo. 	Mercado, empresa e rede de relacionamentos. Usa como estratégias para intervir nessas escalas, a autonomia, a cooperação, o compartilhamento de informações e a integração. Busca a expansão do negócio por meio da integração com outras empresas e da co-evolução. 
	Compatível	Incompatível	Compatível

Quadro 34: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das três empresas analisadas (...Conclusão)

Legenda: Apesar de está em níveis diferentes possuem características compatíveis 

Possuem características incompatíveis e precisam se ajustar para serem integradas 

A empresa focal apresenta incompatibilidades em todas as características levantadas em relação as empresas fornecedora e cliente. Por isso, é a empresa focal que precisa passar pelos mais significativos ajustes, necessários para a continuidade da modelagem proposta, pois é ela quem exerce o controle da cadeia, tendo em relação às outras empresas o domínio sobre a seleção e a manutenção das parcerias entre fornecedores e clientes. Em outras palavras, a empresa focal estabelece relações de poder com as outras empresas da cadeia. Ao mesmo tempo em que assume o controle da cadeia, a empresa focal está no nível de evolução mais baixo se comparada às empresas fornecedora e cliente, selecionadas para esta validação, gerando limitações no processo de integração necessário a formação e a gestão da cadeia de suprimentos. As principais limitações são: hierarquia funcional vertical e centralizada; falta de registro das informações geradas dentro da empresa e com sua cadeia; retenção de informações no nível gerencial (estratégico); autonomia é limitada às decisões operacionais; guiado por atratores periódicos, busca o equilíbrio num raio de atuação pré-estabelecido e conhecido; tendência a seguir uma rotina padrão em situações imprevistas; o nível gerencial desconhece muitos aspectos relativos ao desempenho dos relacionamentos internos com a cadeia e com o mercado; existe um clima de competição nos relacionamentos dentro da empresa; a escala de análise é a própria empresa e a rede de hotéis da qual faz parte.

Etapa 2: Reunião com agentes da empresa focal

A partir do reconhecimento das limitações existentes na empresa focal, procedeu-se a uma reunião com o nível gerencial (estratégico) dela, a fim de expor a situação e mostrar os pontos onde precisava de ajustes. Para se ajustar carecia criar políticas internas que lhe permitam evoluir, do atual nível 5 para o nível 9 de complexidade, que nessa modelagem é o mais alto nível. A iniciativa da empresa focal de criar condições internas, que possibilitem a mudança gradual de um nível mais baixo para um nível mais alto de complexidade, incentiva à evolução dos parceiros comerciais a seguirem a mesma estratégia, pois a empresa focal passa a determinar critérios de seleção que priorizem relacionamentos com empresas que estejam em níveis de complexidade entre 7 e 9 (ver roteiro no Apêndice B). Esses níveis compreendem os sistemas complexos adaptativos, inteligentes e de alta cooperação, níveis em que estão enquadradas as duas empresas, que foram selecionadas para esta validação. A empresa focal pode se beneficiar da sinergia obtida dos relacionamentos com essas duas

empresas, as quais possuem níveis de evolução em complexidade acima de 7 e traçar medidas para co-evoluir com elas.

Etapa 3: Desenvolvimento de medidas para elevar os níveis mais baixos de complexidade

Como apontadas no Quadro 34, a empresa focal identificou suas limitações e incompatibilidades com as empresas da cadeia de suprimentos imediata, desenvolvendo medidas graduais de adequação da empresa ao nível 9 de evolução em complexidade. O Quadro 35 apresenta as medidas que foram tomadas.

Medidas desenvolvidas pela empresa focal para alcançar o nível 9 de complexidade	
Medidas	Possíveis reflexos na formação e gestão da cadeia de suprimentos
1.Reduzir a hierarquia funcional tornando-a mais flexível.	Gera maior integração e rapidez nos relacionamentos, reduzindo a relação de poder.
2.Criar uma memória da trajetória de evolução da empresa que, destaque os erros e os acertos na tomada de decisão.	Selecionar parceiros que estejam comprometidos com os propósitos da empresa focal.
3.Disponibilização das informações de forma mais uniforme entre os funcionários.	Conhecimento das necessidades internas, contribuindo para que os funcionários identifiquem com maior precisão, os relacionamentos mais vantajosos e se comprometam mais intensamente com os propósitos empresariais.
4. Atribuição de maior autonomia aos funcionários na tomada de decisão.	Agilidade na tomada de decisão em relação a formação de parcerias que, descumprem prazos de entrega, não estão no padrão de qualidade estabelecido pela empresa focal ou não estão em consonância com os propósitos da empresa focal.
5. Desmembramento da missão da empresa nos seus principais propósitos.	Reconhecer se na atuação da empresa focal, está sendo usada a estrutura oferecida pela cadeia de suprimentos.
6.Incorporação das imprevisibilidades ao funcionamento da empresa.	Reconhecer que quanto mais existirem interações mais existirão possibilidades de situações imprevisas, que requerem autonomia para decidir como agir.
7. Incentivar o clima de cooperação, criando estratégias para desestimular a competição de soma zero e negativa (ver detalhes Capítulo 2, seção 2.4.2.1).	Todos os parceiros da cadeia ganham, pois o desempenho de um componente afeta o de todos e vice-versa.
8. Ter uma escala de análise além da empresa em si e de sua rede. Considerar as oportunidades do mercado, a estrutura da cadeia de suprimentos e os efeitos para o meio ambiente.	Fortalece os relacionamentos e passa a ser vista pela sociedade com uma empresa responsável.

Quadro 35: Medidas desenvolvidas pela empresa focal para alcançar o nível 9 de complexidade

A seqüência de oito medidas, sumarizadas no Quadro 35, demonstra a intenção da empresa focal em alcançar o nível 9 de complexidade, se equiparando as duas empresas que foram analisadas nessa validação. As medidas assumidas, foram formuladas a partir das incompatibilidades descritas no Quadro 34. Para serem efetivamente implementadas, são

necessários o empenho e o comprometimento de todos os funcionários da empresa, além de demandar algum tempo para serem incorporadas ao dia-a-dia empresarial, pois exigem alterações nos padrões usados há vários anos. Apesar do tempo que deve ser necessário para a empresa alcançar o patamar desejado de evolução em complexidade, sabe-se que o primeiro passo para alcançar essa meta é reconhecer a necessidade de mudança, aspecto destacado por Kelly e Allison (1998), como o mais significativo passo para a evolução de um sistema complexo.

Assim, a partir do reconhecimento por parte da empresa focal, de seu baixo nível de complexidade e da intenção de reduzir suas incompatibilidades com as empresas fornecedora e cliente, tornando-se mais apta para operar na lógica de funcionamento da cadeia de suprimentos.

Na seqüência, apresenta-se a validação da quarta fase da modelagem proposta.

6.1.4 FASE 4: LOCALIZAÇÃO DAS EMPRESAS NUMA ESCALA ESPAÇO-TEMPORAL

Nesta fase, o objetivo é identificar a posição espaço-temporal das três empresas selecionadas, verificando-se as similaridades entre elas no que diz respeito a posição ocupada no mercado e ao estágio do ciclo de vida, no qual se posiciona cada uma.

De acordo com a posição espaço-temporal assumida pelas empresas, seus *fitness landscapes*, as pressões seletivas, os atratores, as bacias de atração, as escalas de observações e as trajetórias assumidas, a posição espaço-temporal pode ser diferente e podem gerar dificuldades para a gestão da cadeia de suprimentos. Na seqüência, os Quadros 36, 37 e 38, apresentam a posição espaço-temporal das três empresas componentes da cadeia de suprimentos.

Os Quadros 36, 37 e 38 apresentam o *status* da empresa focal, da empresa fornecedora e da empresa cliente, conforme as posições que elas ocupam no mercado e os períodos do ciclo de vida em que estão enquadradas. A **empresa focal**, ilustrada no Quadro 36, possui a posição de **líder no mercado** e está no estágio de **crescimento** do seu ciclo de vida. O Quadro 37, apresenta o *status* da **empresa fornecedora**, a qual criou um **mercado novo** e alcançou o estágio de **maturidade**, apesar de está no mercado há apenas cinco anos. A **empresa cliente**, destacada no Quadro 38, **sobrevive em meio à concorrência acirrada**, se mantendo no estágio de **maturidade** do seu ciclo de vida. As duas dimensões, localização no

espaço e localização no tempo produzem uma terceira dimensão, representada pelo *status* que a empresa assume, direcionada por alguns conceitos: *fitness landscape*, pressões seletivas, atratores, bacia de atração, escala de observação e trajetórias. Esses conceitos são descritos para caracterizar o *status* de cada empresa analisada.

Posição Espaço-temporal da Empresa Focal	
Status da Empresa (Cruzamento entre Posição no espaço x Posição no tempo)	
Posição no Espaço Líder de mercado no seu segmento	<p>Fitness landscape: a empresa possui um espaço privilegiado no mercado local, sendo líder no segmento hoteleiro direcionado para o público em viagens de negócios e estar no estágio de crescimento do seu ciclo de vida. Atua a quatro anos no mercado local, se mantendo como empresa líder e com propósitos de expansão no Estado de Santa Catarina. Em 2002, inaugurou uma unidade do em Joinville (SC). Seu espaço de possibilidades é amplo e favorável a expansão.</p> <p>Pressões Seletivas: possui uma localização estratégica privilegiada (próximo ao centro da cidade, quase vizinho ao <i>Shopping Center</i> e a uma quadra da avenida Beira Mar). Até o início de 2004, não existia nenhum hotel da sua categoria nas proximidades. Atualmente, dois novos hotéis estão em vias de funcionamento, um de categoria igual ou superior a empresa focal e o outro, aparentemente de categoria inferior. Esses dois novos empreendimentos, com localizações próximas, se desenvolverem padrões de atendimento similares, podem representar perturbações externas para a empresa focal. Contudo, as pressões seletivas mais significativas estão dentro do próprio hotel, no clima de competitividade que existe entre alguns departamentos e o próprio desconhecimento do espaço que possui no mercado.</p> <p>Atratores: A empresa é norteadora por atratores do tipo periódico. Ela segue alguns direcionadores que se repetem, ganhando regularidade e facilidade de gerenciamento, mas limitando-a a um ciclo limite de atuações. Os atratores são: qualidade no serviço, criação de um estilo próprio, expansão da rede, retorno do investimento dos acionistas.</p> <p>Bacia de Atração: a posição que a empresa ocupa no mercado e o estágio do seu ciclo de vida atual estabelece um espaço de possibilidades de amplas alternativas. A empresa pode situar-se em diferentes pontos desse espaço e aproveitá-los, dependendo da percepção que possui de sua atuação. Os atratores levam a empresa a fixar-se em bacias de atração que podem limitar sua capacidade, sendo sua bacia de atração, manter-se líder no seu setor e se expandir.</p> <p>Escala de Observação: Apesar do desejo da empresa em trabalhar integrada a fornecedores e clientes, dirige a atenção para seu interior e para a rede de hotéis da qual faz parte. Por esse motivo se fixa em bacias de atração específicas que lhe tiram a visão de parte do espaço de possibilidade que possui, em função da: posição que ocupa no mercado, estágio do seu ciclo de vida (crescimento) em que está e estrutura que a cadeia de suprimentos lhe oferece.</p> <p>Trajatória: A empresa possui uma trajetória de quatro anos em Florianópolis, marcada por liderança no mercado e reconhecimento da qualidade dos serviços prestados, pela sociedade. A empresa se diferencia das demais de sua categoria no mercado local. Sua trajetória detalhada com erros e acertos não pode ser descrita, em decorrência da falta de registros de sua história.</p>
Espaço	Posição no Tempo Estágio do Ciclo de Vida: Crescimento
Tempo	

Quadro 36: Posição Espaço-temporal da Empresa Focal

Posição Espaço-temporal da Empresa Fornecedora	
Status da Empresa (Cruzamento entre Posição no espaço x Posição no tempo)	
Posição no Espaço Cria um novo mercado	<p><i>Fitness landscape:</i> a empresa cria um novo mercado no ramo de higiene e limpeza, produzindo e vendendo produtos que incorpora o conceito de proteção ao meio ambiente e a valorização do ser humano. Ela está no estágio de maturidade do seu ciclo de vida, fato que amplia o reconhecimento das possibilidades de atuação no mercado. Possui um conhecimento profundo das peculiaridades do negócio e identificação das necessidades dos clientes. A empresa atua na região sul, não tendo o objetivo de se expandir para as demais regiões brasileiras. Concentra-se em oferecer um produto de qualidade e ecologicamente correto. Reconhece que existe um amplo espaço de possibilidades para explorar, atuando do mercado de limpeza residencial aos estabelecimentos como hotéis e restaurantes, sempre destacando a importância de preservar o meio ambiente.</p> <p>Pressões Seletivas: o preço é um fator que pode influir nas vendas da empresa, pois seus produtos são mais caros que os encontrados comumente em supermercados e lojas especializadas. Porém, como a empresa se diferencia pelo treinamento oferecido e a preocupação com o meio ambiente, depois de conhecidos, geralmente os produtos ganham a fidelidade do cliente.</p> <p>Atratores: a empresa é norteadora por atratores estranhos. Por isso, reconhece que dentro do seu espaço de possibilidades (posição no tempo x posição no espaço) pode assumir qualquer localização, de maneira que possa se ajustar mais eficientemente às pressões seletivas do mercado.</p> <p>Bacia de Atração: os atratores levam a empresa a se fixar em bacias de atração. No caso de empresas com níveis de complexidade mais altos, que são orientadas por atratores estranhos, seus equilíbrios não estão associados ao estado inicial ou a situações de regularidades. A empresa não está presa a nenhuma bacia de atração. Ela reconhece, acessa e utiliza o espaço de possibilidade que possui para se firmar no mercado, pela qualidade e responsabilidade dos produtos.</p> <p>Escala de Observação: a visão da empresa é macro, a qual orienta a estratégia de permanência no mercado associada a sustentabilidade do meio ambiente; numa escala de observação que prioriza o meio ambiente, depois a cadeia de suprimentos, e finalmente a empresa com seus relacionamentos.</p> <p>Trajatória: a empresa possui uma trajetória de cinco anos de permanência no mercado, destacando-se em Florianópolis. Seus produtos passaram a ser reconhecidos pelos clientes que os adquirem e recomendam a outros, sem o uso de quaisquer estratégia de marketing. A empresa possui uma memória de seu funcionamento, que resgata os erros e os acertos nas tomadas de decisões.</p>
Espaço	Posição no Tempo Estágio do Ciclo de Vida: Maturidade
Tempo	

Quadro 37: Posição Espaço-temporal da Empresa Fornecedora

Posição Espaço-temporal da Empresa Cliente					
Status da Empresa (Cruzamento entre Posição no espaço x Posição no tempo)					
Posição no Espaço Sobrevive em meio a concorrência acirrada	Fitness landscape: a empresa está num mercado muito competitivo e com diversos tipos de concorrência (outras agências, agências virtuais, o setor de eventos dos hotéis e as próprias pessoas físicas). Mesmo assim conseguiu se manter competitiva no mercado, não entrando no período de declínio do ciclo de vida. Seu espaço de possibilidades é menor que os das outras duas empresas membros da cadeia de suprimentos imediata, porém explora com criatividade o espaço que possui, compensando o grande número de concorrentes, prestando serviços de consultoria em viagens aos clientes.				
	Pressões Seletivas: são exercidas, principalmente pela concorrência acirrada.				
	Atratores: a empresa é norteadada por atratores estranhos, os quais não apresentam regularidade ou limitação de atuação. A empresa reconhece que apesar da concorrência, existem alternativas para se diferenciar e manter-se competitiva, diferenciando-se da concorrência.				
	Bacia de Atração: a empresa não se fixa em nenhuma bacia de atração, fato que acontece com empresas com níveis mais altos de complexidade, como é o caso da empresa cliente. Dentro do seu espaço de possibilidades, encontra alternativas de funcionamento que vincula seu nome a um serviço diferenciado e de qualidade.				
	Escala de Observação: a empresa possui uma visão do contexto, acompanhando regularmente as mudanças no mercado e buscando mecanismos de adaptação a estas mudanças. A organização interna da empresa é ajustada em função das alterações no ambiente, dos seus parceiros comerciais e de seus clientes.				
	Trajatória: a empresa está no mercado desde 1993, sendo que em Florianópolis, se mantém entre as cinco maiores agências desde 1998. A empresa é reconhecida pelo atendimento diferenciado e pela eficiência e seriedade na prestação de serviços.				
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Espaço</td> <td style="text-align: center;">Posição no Tempo</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tempo</td> <td style="text-align: center;">Estágio do Ciclo de Vida: Maturidade</td> </tr> </table>	Espaço	Posição no Tempo	Tempo	Estágio do Ciclo de Vida: Maturidade	
Espaço	Posição no Tempo				
Tempo	Estágio do Ciclo de Vida: Maturidade				

Quadro 38: Posição Espaço-temporal da Empresa Cliente

Nota-se observando os Quadros 36,37 e 38 que cada empresa analisada possui uma posição diferente no mercado. A empresa focal é líder de mercado; a empresa fornecedora cria um novo mercado e a empresa cliente sobrevive em meio à concorrência acirrada. Na dimensão tempo, usou-se como analogia o ciclo de vida da empresa, visando identificar o estágio em que esta se enquadra. A empresa focal está no período de crescimento; a empresa fornecedora está no estágio de maturidade e a empresa cliente, se enquadra no período de crescimento do seu ciclo de vida. O *status* de cada empresa configura uma terceira dimensão descrita a partir de alguns conceitos que a caracteriza, podendo ser visualizados nos referidos Quadros.

Esta fase é importante para que as empresas reconheçam a situação real que se situam em relação ao mercado e identifiquem as sinergias existentes entre elas. A partir dessa identificação, podem desenvolver uma arquitetura que aproveite as informações oferecidas pela posição de cada uma delas no mercado; o estágio do ciclo de vida em que se enquadram e o *status* que possuem. O reconhecimento das condições iniciais de cada empresa facilita a

formação e a gestão dos arranjos empresariais, porque a partir da identificação de suas características, pode-se criar uma estrutura conjunta, usando as experiências de cada empresa, individualmente. Essa prática favorece a formação de um arranjo mais resistente às imprevisibilidades do mercado, ao mesmo tempo em que fortalece a estrutura individual de cada empresa. No caso das três empresas analisadas, a empresa focal pode beneficiar-se duplamente: pela experiência da empresa cliente em conseguir manter-se competitiva no mercado, apesar da forte concorrência que enfrenta, e de se beneficiar da experiência da empresa fornecedora em criar um novo mercado. As empresas fornecedora e cliente se beneficiam da estrutura expandida da rede *Blue Tree Hotels* e da credibilidade que o hotel possui em Florianópolis e no Brasil. Nota-se que, a retenção das informações obtidas em função da localização espaço-temporal das empresas, contribui para que a cadeia se conheça mais profundamente, apropriando-se das qualidades umas das outras, num circuito de *loops* duplos.

O levantamento do *status*, de cada empresa componente da cadeia, revela o panorama delas no mercado, conforme seu ciclo de vida. Esta informação é usada para verificar a influência que, localizações diferentes assumidas por empresas membros de uma cadeia de suprimentos, podem afetar o desempenho desta. Nessa pesquisa as empresas analisadas possuem posições no mercado favoráveis a co-evolução. Seus espaços de possibilidades são amplos, e se forem conhecidos e bem aproveitados, podem trazer benefícios mútuos. Os benefícios advêm da aprendizagem obtida pelas experiências e habilidades individuais de cada membro da cadeia e pela transposição dessa aprendizagem para a gestão conjunta. Essas informações, associadas às demais obtidas a partir da determinação do nível de evolução em complexidade de cada empresa, estabelecem vantagens competitivas que reduzem as pressões seletivas externas e podem melhorar a trajetória individual e conjunta das empresas envolvidas no projeto.

Na seqüência, apresenta-se a validação da quinta fase da modelagem proposta.

6.1.5 FASE 5: CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS

A partir desta fase, as informações são estratégicas para as empresas envolvidas na modelagem proposta, motivo pelo qual são apresentadas apenas parcialmente, destacando-se que, em algumas etapas são totalmente excluídas para preservar tais informações.

As quatro fases anteriores são indispensáveis à construção da arquitetura da modelagem, a qual foi construída com base nos comportamentos obtidos em função do nível de evolução da complexidade das empresas; das características que elas possuem; do interesse em evoluir; da localização no mercado e no estágio do ciclo de vida. De posse dessas informações, o observador pode criar uma arquitetura que seja mais apropriada à gestão conjunta das empresas.

Etapa 1: Determinação da estrutura funcional para a cadeia de suprimentos

Inicia-se pela definição da estrutura apropriada às características das três empresas analisadas. Portanto, o Quadro 39 resume as principais informações obtidas da aplicação das quatro primeiras fases da modelagem proposta.

Identificadas e reconhecidas as principais informações obtidas a partir das quatro fases aplicadas, estabeleceu-se uma arquitetura, composta de duas estruturas: uma vertical e outra horizontal, que dará suporte aos comportamentos identificados e facilitará o funcionamento integrado das três empresas selecionadas.

Para determinar tais estruturas, apóia-se nas constatações de Simon (1969). Ele estabelece que os sistemas complexos precisam de uma arquitetura que considere a complexidade das relações entre os múltiplos níveis de integração que compõem sua estrutura. O conceito orientador da abordagem de Simon é a hierarquia, a qual, nessa abordagem não se refere a uma seqüência *top-down*, de autoridade e controle. Refere-se a um sistema composto por subsistemas inter-relacionados. Cada subsistema é hierárquico em estrutura até que atinja um determinado nível inferior de subsistemas elementares. Os níveis são semi-autônomo, combinando um misto de associações (resistência à decomposição) e flexibilidades (facilidade de decomposição) verticais e horizontais. Elas formam a base do conceito de quase decomponibilidade dos sistemas complexos. Para maiores detalhes, ver Capítulo 2, seção 2.4.3.1, desse trabalho.

O sistema modelado é uma cadeia de suprimentos imediata, composta de três empresas: uma focal, a qual lidera a cadeia; uma fornecedora e uma cliente. É importante lembrar que a cadeia de suprimentos se enquadra no âmbito dos sistemas complexos sociais (ver Capítulo 5, seção 5.1.5). Dessa forma, para a construção de uma arquitetura apropriada a esse tipo de sistema, determinam-se as estruturas vertical e horizontal, de acordo com a

abordagem teórica assumida, conforme os interesses dos dirigentes das empresas e os objetivos comuns para atender eficientemente as necessidades dos clientes finais.

Principais informações obtidas a partir da aplicação das quatro primeiras fases da modelagem proposta				
Empresas Fases	Fase 1 Preparação	Fase 2 Determinação dos níveis de evolução em complexidade das empresas	Fase 3 Se necessário, tornar os níveis compatíveis	Fase 4 Localização espaço-temporal das empresas
Empresa Focal	Iniciada na empresa focal e estendida para as demais. Composta de: definição do sistema e identificação dos principais agentes envolvidos; nivelamento conceitual; caracterização das empresas; mapeamento da cadeia de suprimentos da empresa focal; seleção dos relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal; descrição dos relacionamentos entre as empresas selecionadas.	Nível 5	Incompatível em todas as comportamentos em relação às duas empresas membros. Expressa o desejo de evoluir em complexidade, criando medidas internas para obter essas mudanças e se relacionar com membros que possuam níveis de evolução mais alto ou desejem alcançar níveis de evolução entre 7 e 9.	Posição no espaço: líder no mercado em seu segmento. Posição no Tempo: estágio do ciclo de vida: crescimento. Status: possui o maior <i>fitness landscape</i> real em comparação as duas outras empresas analisadas, mas o observador não percebe esse espaço real.
Empresa Fornecedora		Nível 8	Apenas uma característica é incompatível em relação às duas empresas, com as quais se relaciona.	Posição no Espaço: criou novo mercado. Posição no Tempo: estágio do ciclo de vida: maturidade. Status: o observador visualiza o seu <i>fitness landscape</i> real e aproveita todas as possibilidades.
Empresa Cliente		Nível 7	Possui duas características que são incompatíveis com as duas empresas, com as quais se relaciona.	Posição no Espaço: sobrevive em meio a concorrência acirrada. Posição no Tempo: estágio do ciclo de vida: crescimento. Status: apesar de possuir o menor <i>fitness landscape</i> das três empresas analisadas, o observador explora todas elas para se diferenciar.

Quadro 39: Resumo das Principais informações obtidas a partir da aplicação das quatro primeiras fases da modelagem proposta.

Etapa 2: Estruturas vertical e horizontal

A estrutura vertical é segmentada em níveis de integração recursivos, isto é, um nível dá suporte para que o seguinte evolua, num movimento contínuo de associação e flexibilidade. Os níveis de integração são três: **Superior**; representado pelas empresas da cadeia operando em conjunto. Esse nível age como uma **fronteira** que delimita a modelagem proposta. **Intermediário**; constituído pelos subsistemas das três empresas que interagem e comunicam-se, os quais criam a **estabilidade** da modelagem. **Elementar**; formado pelas empresas isoladas, sem conexão interempresarial. Eles são importantes para a arquitetura elaborada, porque oferecem as **condições iniciais** para que seja estabelecida uma cadeia de suprimentos. A estrutura horizontal é formada pelo **comportamento das interações** entre e dentro dos subsistemas e processos que permeiam os níveis de integração estabelecidos na estrutura vertical.

O Quadro 40 mostra a composição das estruturas vertical e horizontal, a partir das quais a cadeia se configura.

A segmentação da estrutura em vertical e horizontal, mostrada no Quadro 40, representa a configuração dada ao arranjo de empresas especificamente tratado neste trabalho. A segmentação da estrutura para outros tipos de sistemas, bem como o estabelecimento dos níveis de integração vertical e a análise das interações nos subsistemas que cortam os níveis, formando a segmentação horizontal, dependem das características que as empresas possuem e do recorte dado pelo observador.

A partir da determinação da arquitetura estática assumida nessa modelagem, passa-se à fase 6, na qual apresenta-se uma dinâmica para a arquitetura proposta. A dinâmica é fundamentada no comportamento das interações e para interpretá-las, é empregada como “ferramentas” auxiliares, a matriz de análise estrutural e as matrizes de impacto cruzado (MICMAC), apresentadas e discutidas no Capítulo 3, seção 3.4.4.

Estruturas quase decomponíveis que dá suporte ao funcionamento da cadeia de suprimentos imediata	
Estrutura Vertical é composta de níveis de integração....	Estrutura Horizontal é composta de....
<p>NO NÍVEL ELEMENTAR: EMPRESAS ISOLADAS</p> <p>Empresa Focal <u>Departamentos</u> (1) Governança; (2) Recepção; (3) Financeiro; (4) Infra-estrutura; (5) Comercial</p> <p>Empresa Fornecedora <u>Departamentos</u> (1) Produção; (2) Distribuição e Vendas; (3) Administração</p> <p>Empresa Cliente <u>Departamentos</u> (1) Vendas; (2) Captação de clientes e distribuição em hotéis conveniados; (3) Administração</p>	<p>INTERAÇÕES ENTRE OS SUBSISTEMAS</p> <p>No nível elementar, a intenção é estabelecer as relações dentro de cada empresa individualmente. As interações ocorrem somente dentro das empresas, não sendo consideradas as interações interempresariais. Apesar disso, é relevante, antes de se estabelecer formalmente uma cadeia de suprimentos, conhecer como as empresas se relacionam internamente, pois esses relacionamentos internos formam a base dos futuros relacionamentos interempresariais. Se as empresas apresentam interações competitivas, exibem relações de poder e existe desconfiança no compartilhamento das informações dentro da empresa, a tendência é que esse comportamento seja transposto para as relações com outras empresas.</p>
<p>NO NÍVEL INTERMEDIÁRIO</p> <p>SUBSISTEMAS QUE SE RELACIONAM DIRETAMENTE NA CADEIA</p> <p>Empresa Focal <u>Departamentos</u> (1) Governança; (2) Recepção; (3) Financeiro; (4) Comercial</p> <p>Empresa Fornecedora <u>Departamentos</u> (1) Distribuição e Vendas; (2) Administração</p> <p>Empresa Cliente <u>Departamentos</u> (1) Vendas; (2) Captação de clientes e distribuição em hotéis conveniados; (3) Administração</p>	<p>INTERAÇÕES ENTRE OS SUBSISTEMAS</p> <p>No nível intermediário, a preocupação é estabelecer os relacionamentos entre as três empresas, sem identificar os que são indispensáveis para a formação e gestão da cadeia de suprimentos. O objetivo é identificar quais subsistemas de cada empresa mantêm relações estáveis com as outras empresas da cadeia, com as quais se relacionam, destacando o comportamento dessas interações. Além disso, identificam-se como são formadas as conexões, se existem relações de poder, se existe cooperação, se existe competitividade, relações de mútua colaboração e confiança e se as relações são estabelecidas através de contratos de longo ou de curto prazo.</p>
<p>NO NÍVEL SUPERIOR</p> <p>CADEIA DE SUPRIMENTOS IMEDIATA</p> <p>Empresa Fornecedora-Empresa Focal-Empresa Cliente</p>	<p>INTERAÇÕES ENTRE OS SUBSISTEMAS</p> <p>No nível superior, concentra-se nos relacionamentos que são imprescindíveis para a formação e a gestão da cadeia de suprimentos. Deve-se identificar a qualidade das interações e a importância delas dentro e entre as empresas que compõem a cadeia de suprimentos estudada. A partir disso, é possível estabelecer a dinâmica de funcionamento mais apropriada a configuração da cadeia.</p>

Quadro 40: Arquitetura que suportará o funcionamento da cadeia de suprimentos imediata modelada.

O Quadro 41 apresenta as variáveis, representadas pelos subsistemas e processos, componentes das três empresas da cadeia de suprimentos, que alimentarão a matriz de análise estrutural e as MICMACs, as quais auxiliam na efetivação da dinâmica da modelagem, apresentada e discutida na fase 6. Além disso, servirão de base para a construção dos mapas das interações em cada nível de integração da arquitetura proposta. Ressalta-se que, as variáveis relativas ao nível de integração superior, descritas no Quadro 41, demonstram apenas as variáveis internas a cadeia de suprimentos, já que as fronteiras da cadeia representam os limites da modelagem proposta.

Na seqüência, apresenta-se, na próxima seção, a fase 6 da validação da modelagem proposta.

Base para a composição da Matriz de Análise Estrutural			
Nível Elementar: Empresas isoladas	Empresa Fornecedora Subsistemas e Processos	Empresa Focal Subsistemas e Processos	Empresa Cliente Subsistemas e Processos
<p>Variáveis Externas</p> <p>Interações dentro de um departamento da empresa e em comunicação com outros departamentos.</p>	<p>Subsistema: Produção Processos: fabricação, transporte e estocagem . Subsistema: Distribuição e Vendas Processos: capacitação de clientes, acompanhamento da demanda e distribuição de produtos. Subsistema: Administração Processos: conferência de contas, negociações com fornecedores, controle de estoque e orçamento para os clientes.</p>	<p>Subsistema: Governança Processos: <i>check-in e check-out</i> do dia, controle dos apartamentos, necessidade de fornecimento, liberação de apartamentos, acompanhamento dos custos e receitas. Subsistema: Recepção Processos: confirmação de reservas, <i>check-out</i>, conferência de <i>check-in</i>, recebimento e instalação do hóspede e acompanhamento de caixa. Subsistema: Financeiro Processos: conferência de contas e aprovação de compras. Subsistema: Infra-estrutura Processos: verificação de necessidade de compras, Atendimento de requisições da governança, acompanhamento de custos da infra-estrutura, atendimento de requisições de eventos. Subsistema: Comercial Processos: inserir as reservas no sistema, captação e organização de eventos</p>	<p>Subsistema: Vendas Processos: contato com clientes efetivos e potenciais, estrutura hoteleira, pacotes turísticos e criação de promoções. Subsistema: captação de clientes Processos: cliente balcão, clientes habituais, agências de viagens, operadores turísticos e eventos. Subsistema: Administração Processos: negociações com operadores e preços diferenciados.</p>
<p>Variáveis Internas</p> <p>Interações dentro do departamento e sem comunicação com outro departamento.</p>	<p>Subsistema: Produção Processos: embala e rotula os produtos Subsistema: distribuição e Vendas. Processos: programa educacional com os usuários para valorizar e preservar o meio ambiente, treinamento para os usuários dos processos. Subsistema: Administração Processos: fluxo de caixa, contas à pagar e a receber, controle da folha de pagamento.</p>	<p>Subsistema: Governança Processos: determinação de prioridades da Governança, determinação da urgência dos apartamentos, distribuição da rotina com as camareiras, conforme as prioridades do dia, despachar com a gerência, e verificação do padrão dos apartamentos. Subsistema: Recepção Processos: bloqueio de apartamento, conforme solicitações de agências, empresas e clientes, efetuar faturamento cliente, controle do hóspede para café da manhã, acompanhamento do fundo de caixa, auditoria, <i>log book</i> – junção de turnos, conferência do consumo do apartamento. Subsistema: Financeiro Processos: fluxo de caixa, negociações com fornecedores, renegociação de contratos, acompanhamento do comissionamento das agências de viagens, controle da folha de pagamento, controle do banco de horas. Subsistema: Infra-estrutura Processos: verificação da ordem de serviço do dia anterior, acompanhamento dos serviços terceirizados, manutenção de equipamentos de recreação, manutenção elétrica, mecânica e hidráulica. Subsistema: Comercial Processos: manutenção clientes, prospecção de novos clientes, visitação à clientes, <i>telemarketing</i>, criação de promoções, atendimento de reservas, estabelecer procedimentos para vender apartamentos, supervisionar metas de vendas e parcerias com empresas, observação do calendário de congressos, encontros e exposições.</p>	<p>Subsistema: Vendas Processos: produtos turísticos. Subsistema: captação de Clientes. Processos: nenhum Subsistema: Administração Processos: conferência de contas, fluxo de caixa, contas a pagar e a receber, controle da folha de pagamento, participação sobre os lucros</p>

Quadro 41: Base para a composição da Matriz de Análise Estrutural e MICMAC (Continua....)

Nível Intermediário: Processos compartilhados	Empresa Fornecedora Subsistemas e Processos	Empresa Focal Subsistemas e Processos	Empresa Cliente Subsistemas e Processos
<p>Variáveis Internas</p> <p>Interações entre os departamentos da empresa e sem comunicação com outras empresas.</p>	<p>Subsistema: Produção</p> <p>Processos: transporte, estocagem e fabricação de produtos.</p> <p>Subsistema: Distribuição e Vendas</p> <p>Processos: acompanhamento da demanda no mercado</p> <p>Subsistema: Administração</p> <p>Processos: controle de estoque, conferência de contas.</p>	<p>Subsistema: Governança</p> <p>Processos: <i>check-in, check-out</i>, liberação de apartamentos, acompanhamento dos custos e receitas.</p> <p>Subsistema: Recepção</p> <p>Processos: <i>check-in, check-out</i>, recebimento e instalação do hóspede, acompanhamento do fluxo de caixa.</p> <p>Subsistema: Financeiro</p> <p>Processos: supervisão de contas a pagar e a receber.</p> <p>Subsistema: Infra-estrutura</p> <p>Processos: atendimento de requisições da governança, acompanhamento de custos de infra-estrutura, verificação da necessidade de compras.</p> <p>Subsistema: Comercial</p> <p>Processos: captação e organização de eventos.</p>	<p>Subsistema: vendas</p> <p>Processos: pacotes turísticos e criação de promoções..</p> <p>Subsistema: Captação de Clientes</p> <p>Processos: nenhum</p> <p>Subsistema: Administração</p> <p>Processos: nenhum.</p>
<p>Variáveis Externas</p> <p>Interações entre as empresas.</p>	<p>Subsistema: Produção</p> <p>Processos: nenhum</p> <p>Subsistema: Distribuição e Vendas</p> <p>Processos: captação de clientes, distribuição de produtos e treinamento para os usuários dos produtos</p> <p>Subsistema: Administração</p> <p>Processos: orçamento para clientes.</p>	<p>Subsistema: Governança</p> <p>Processos: controle de apartamentos, necessidade de compras.</p> <p>Subsistema: Recepção</p> <p>Processos: confirmação de reservas.</p> <p>Subsistema: Financeiro</p> <p>Processos: conferência de contas, aprovação de compras, comissão (agências) e negociação com fornecedores.</p> <p>Subsistema: Infra-estrutura</p> <p>Processos: nenhum</p> <p>Subsistema: Comercial</p> <p>Processos: inserir reservas no sistema, prospecção de novos clientes, captação e organização de eventos.</p>	<p>Subsistema: Vendas</p> <p>Processos: contato com clientes efetivos e potenciais, estrutura hoteleira.</p> <p>Subsistema: captação de clientes</p> <p>Processos: diferentes tipos de clientes e eventos.</p> <p>Subsistema: Administração</p> <p>Processos: contas a pagar e a receber.</p>

Quadro 41: Base para a composição da Matriz de Análise Estrutural e MICMAC (Continua....)

Nível Superior Cadeia de Suprimentos	Empresa Fornecedora Processos e Subprocessos	Empresa Focal Processos e Subprocessos	Empresa Cliente Processos e Subprocessos
<p>Variáveis Internas</p> <p>Interações indispensáveis para que a cadeia de suprimentos funcione eficientemente.</p>	<p>Subsistema: Distribuição e vendas Processos: distribuição dos produtos e treinamento para os usuários dos produtos. Subsistema: Administração Processos: orçamento para clientes e conferência de contas.</p>	<p>Subsistema: Governança Processos: controle de apartamentos, necessidade de compras e execução do serviço de camareira. Subsistema: Recepção Processos: confirmar reservas. Subsistema: Financeiro Processos: conferência de contas, aprovação de compras, comissão (agências) e negociação com fornecedores. Subsistema: Comercial Processos: inserir reservas no sistema do hotel, prospecção de novos clientes, captação e organização de eventos.</p>	<p>Subsistema: Vendas Processos: contato com clientes efetivos e potenciais e estrutura hoteleira. Subsistema: captação de clientes Processos: diferentes tipos de clientes e eventos. Subsistema: Administração Processos: contas a pagar e a receber.</p>
<p>Variáveis Externas</p> <p>Interações fora das fronteiras da arquitetura proposta.</p>	<p>Não são consideradas na modelagem. Os limites estabelecidos foram as interações dentro da cadeia.</p>	<p>Não são consideradas na modelagem. Os limites estabelecidos foram as interações dentro da cadeia</p>	<p>Não são consideradas na modelagem. Os limites estabelecidos foram as interações dentro da cadeia</p>

Quadro 41: Base para a composição da Matriz de Análise Estrutural e MICMAC (.....Conclusão)

6.1.6 FASE 6: DEFINIR A DINÂMICA PARA A ARQUITETURA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Nesta fase, poucas etapas serão apresentadas integralmente. O motivo disto é a preocupação em não expor aspectos estratégicos das empresas envolvidas na modelagem. Em relação à fase anterior, esta é composta de informações mais reveladoras das estratégias das empresas, pois aponta valores monetários e outros aspectos que poderiam beneficiar a concorrência, fatos que reforçam o motivo de manter em sigilo parte das informações obtidas.

Na fase 5, a partir do conhecimento do nível de evolução em complexidade das empresas; dos critérios adotados pela empresa focal para alcançar um nível mais elevado de evolução em complexidade, selecionando empresas parceiras com níveis de evolução em complexidade entre 7 e 9; da localização espaço-temporal e do panorama de cada empresa com base na referida localização, procedeu-se a elaboração de uma arquitetura que fosse mais apropriada as características das três empresas analisadas. A arquitetura foi desenvolvida com base no conceito de estruturas quase decomponíveis instituído por Simon (1969), consistindo de duas estruturas uma vertical e outra horizontal. A vertical é dividida em níveis de integração (elementar, intermediário e Superior) e a horizontal é segmentada em subsistemas que interagem e formam tipos de interações (constitutivas e agregativas) e liberam um tipo de energia no movimento que geram (competitivo e/ou cooperativo). Com a validação das cinco fases anteriores, é possível estabelecer a dinâmica das interações, que constitui a sexta fase da modelagem proposta.

Etapa 1: Percepção do Observador

A dinâmica da modelagem começa pela visão do observador. Na modelagem proposta, o observador é representado pelos dirigentes das três empresas envolvidas e pela pesquisadora que atua como facilitadora do processo. A empresa focal exerce um maior poder na tomada de decisão, pelo fato de ser a empresa líder. A condição de líder, vem da influência que a empresa focal exerce em relação as empresas fornecedora e cliente, decorrente da dupla proximidade com os clientes intermediários (agências de viagens e empresas) e finais (hóspedes), como também por ser a partir dela que a cadeia de suprimentos é estruturada. A intenção da empresa focal é agregar parceiros a sua cadeia de suprimentos, que estejam em

consonância com os objetivos que norteiam sua atuação no mercado, desenvolvendo um processo de mútua cooperação. O propósito central da empresa focal é prestar serviço de hotelaria com alta qualidade. Para isso, depende do funcionamento interno da empresa, das interações com a cadeia de suprimentos, dos relacionamentos com o mercado e dos funcionários e membros da sua cadeia de suprimentos perceberem a importância em possuir propósitos compatíveis com os da empresa.

Assim, os observadores desenvolvem esquemas mentais individuais para captar os resultados gerados pelas empresas no contexto da cadeia, com base em três dimensões: a arquitetura da modelagem, a energia gerada pelas interações e o tipo de auto-organização predominante nas empresas. Os esquemas individuais devem evoluir para compartilhados, no momento em que as empresas se juntam para formar uma cadeia de suprimentos.

Na arquitetura da modelagem, desenvolvida na fase 5, propõe-se um cruzamento das estruturas vertical e horizontal, nas quais se estabelece três níveis de integração: superior, intermediário e elementar. Na estrutura vertical, propõe-se a análise das diversas interações dentro e entre os subsistemas das empresas individuais e integradas a outras empresas, o que delineará a estrutura horizontal. A primeira dimensão, que compõe a percepção do observador, já foi desenvolvida portanto, na fase anterior. A energia liberada pelas interações serão levantadas na seqüência da fase 6, estabelecendo-se estados de competição e cooperação, bem como a auto-organização, as quais são dimensões novas que se conformam a partir da movimentação da arquitetura. De acordo com o Capítulo 3, seção 3.3, os sistemas complexos assumem diferentes dinâmicas. Nessa modelagem, assumiu-se que a cadeia de suprimentos representada tende ao tipo de auto-organização, baseado no conceito de hierarquia (ver Capítulo 3, seção 3.3.1.2.3). Esse tipo de auto-organização segue a abordagem de Simon (1969), além de estar associado ao tipo específico de fechamento organizacional fundamentado no conceito de hierarquia, o qual é representado por uma rede de relações fechadas surjectivas (ver Capítulo 3, seção 3.3.1.1), conforme abordagem de Heylighen (1988). A Figura 31, ilustra a percepção dos observadores para estabelecer a dinâmica da modelagem proposta.

A dinâmica é determinada a partir da percepção dos observadores, motivo pelo qual existe muita subjetividade na modelagem proposta. A determinação da dinâmica das interações dentro e entre as empresas, dá funcionalidade as estruturas vertical e horizontal estabelecida na fase 5. A Figura 31, mostra como os três dirigentes das empresas membros da cadeia de suprimentos, podem influenciar positivamente uns aos outros para, com base nos seus esquemas individuais, criarem sinergias e elaborarem um esquema compartilhado. Este

esquema considera as características de cada empresa, ao mesmo tempo em que se alinha ao propósito principal da empresa focal, formando relacionamentos do tipo ganha-ganha. Dessa forma, as empresas individuais se beneficiam da estrutura da cadeia e esta se beneficia da flexibilidade e do nível mais alto de evolução em complexidade, das empresas membros, bem como do *status* dessas empresas no mercado e vice-versa. A facilitadora exerce a função de observador externo, captando as emergências alcançadas pela gestão conjunta e identificando os momentos em que as empresas conseguem se auto-organizar.

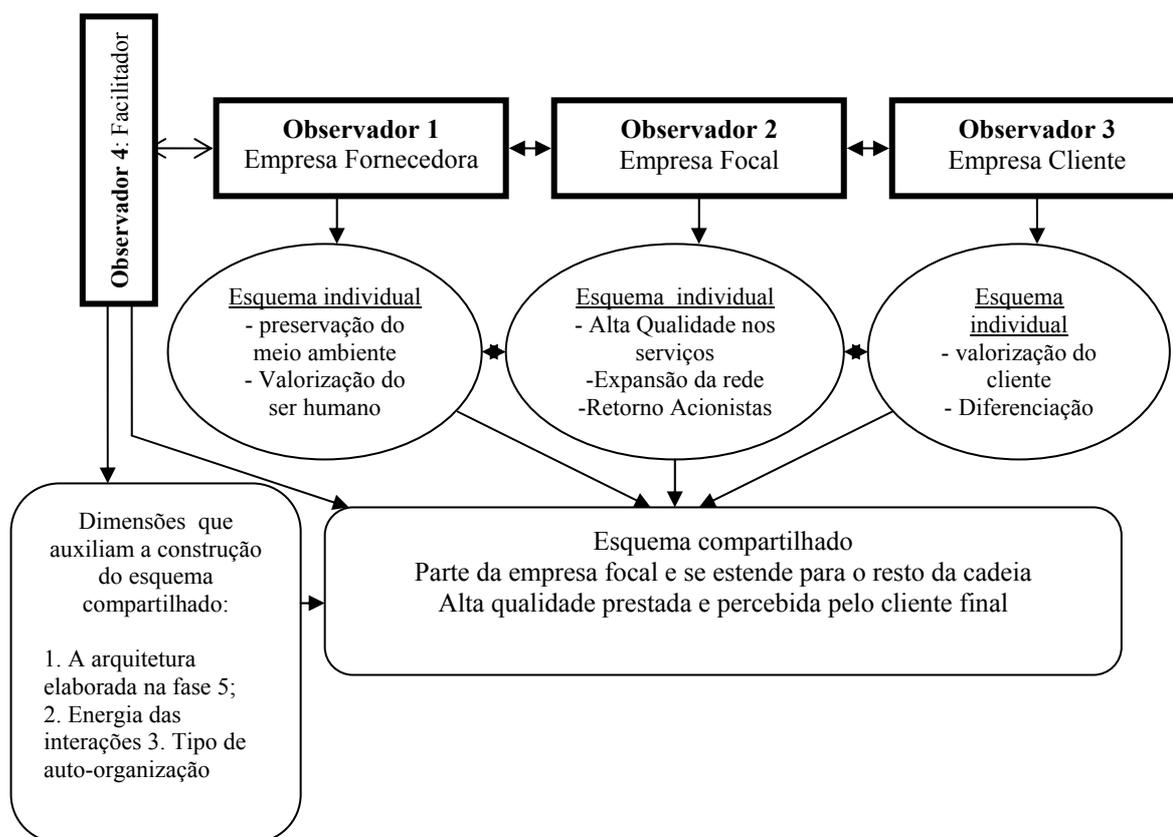


Figura 31: Percepção dos observadores para estabelecer a dinâmica da arquitetura da cadeia de suprimentos

Etapa 2: Determinação dos elementos da cadeia de suprimentos

A palavra dinâmica possui sentido de movimento, assim, atribuir dinâmica a um sistema é torná-lo mutável, imprevisível, mais complexo e mais difícil de prever o seu comportamento. Isso ocorre, porque ele sofre as influências do ambiente externo e das próprias percepções dos observadores. A cadeia de suprimentos modelada é composta de diversas partes distintas que se conectam (ver Figura 29). As partes distintas são representadas

pelos subsistemas (departamentos) das três empresas membros da cadeia e seus respectivos processos que precisam ser compartilhados para funcionarem integrados, como apresentado nos Quadros 40 e 41. Nesse movimento, alguns processos e departamentos podem concentrar mais informações e se tornarem um nó na cadeia, como é o caso do processo *controle de apartamentos* no subsistema *Governança* da empresa focal, o qual representa um processo-chave para a execução de outros processos. Muitos nós formam redes, que podem gerar problemas na circulação das informações.

Etapa 3: Articulação dos elementos da cadeia de suprimentos

Nesta etapa, o observador já possui um profundo conhecimento sobre o sistema complexo modelado. Ele sabe o nível de evolução em complexidade das empresas componentes da cadeia de suprimentos modelada; identifica a localização espaço-temporal da cadeia; conhece a arquitetura de suporte da modelagem e os elementos que formam a cadeia. A partir deste conhecimento, prossegue estabelecendo pressupostos para a articulação dos elementos componentes da cadeia (empresas, subsistemas e processos). A articulação é construída para apoiar os tipos de interações existentes e a energia predominante nestas interações, bem como para dar suporte ao nível de evolução em complexidade de cada empresa e a localização espaço-temporal de cada uma, estabelecendo pressupostos para a articulação dos elementos. O Quadro 42 mostra os pressupostos para a determinação da articulação da cadeia de suprimentos modelada.

Articulação atribuída a Cadeia de Suprimentos Modelada	
Etapas	
Percepção do Observador	Esquema compartilhado (Figura 31)
Elementos do sistema	Empresa Fornecedora: Subsistemas e processos Empresa Focal: Subsistemas e processos Empresa Cliente: Subsistemas e processos (Figura 35)
Articulação dos elementos	<p>Consideram-se as 5 fases anteriores. Destacam-se o nível de evolução em complexidade das empresas componentes da cadeia, a localização espaço-temporal e a arquitetura da modelagem. Além disso, estabelecem-se pressupostos que regem a articulação dos subsistemas e processos de cada empresa na cadeia de suprimentos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. As empresas estão sujeitas a transformações: mudanças de estratégias, mudanças no mercado, mudanças nas interações; 2. Cada empresa possui uma identidade. A identidade está em função do esquema dominante da empresa (ver fase 2 da modelagem); 3. A empresa pode mudar sua organização interna. Isso pode acontecer em função das pressões seletivas do ambiente e através da capacidade de ajuste da empresa às imposições do mercado (ver fase 4 da modelagem); 4. As empresas podem mudar suas conexões com seus subsistemas e com outras empresas, conforme seus objetivos e os objetivos das outras empresas com as quais se relacionam; 5. As empresas podem resistir as perturbações do mercado, deste que criem estruturas mais flexíveis e fortes; 6. A empresa é um sistema de organização fechada e estrutura aberta. A capacidade de auto-organização da empresa está em função do tipo de fechamento assumido pela organização (Capítulo 3, seção 3.3.1.1); 7. A empresa é capaz de auto-organização. Por meio das interações podem surgir variedades de idéias que indicam novos caminhos para as empresas; 8. A empresa exibe um misto de autonomia e dependência. Precisa interagir com outras empresas e com o ambiente para sobreviver, ao mesmo tempo em que possui autonomia de decisão e ação; 9. A empresa possui uma estrutura quase decomponível, como estabelecido por Simon (1969); 10. A empresa está atrelada as suas condições iniciais. Por isso, a importância de saber o nível de evolução em complexidade das empresas envolvidas, a localização no mercado e estágio no ciclo de vida.

Quadro 42: Pressupostos para a articulação da cadeia de suprimentos modelada

Com o estabelecimento da percepção dos observadores, o reconhecimento dos elementos da cadeia de suprimentos e a determinação dos pressupostos para articulação dos elementos da empresa, passa-se ao estabelecimento da funcionalidade da cadeia de suprimentos modelada.

Etapa 4: Dar funcionalidade a cadeia de suprimentos modelada

Por meio da investigação feita sobre as ferramentas que podem ser empregadas na modelagem dos sistemas complexos (ver Capítulo 3, seção 3.4), selecionou-se a análise estrutural, mais especificamente a MICMAC (Matriz de Impacto Cruzado – Multiplicação Aplicada a uma Classificação), proposta por Godet (1993), por ser uma ferramenta

direcionada a análise das interações e apresentar um grau de complexidade mais adequado ao tratamento dos sistemas complexos, quando comparada às outras ferramentas pesquisadas. A ferramenta é fundamentada em relações de influências probabilísticas entre as variáveis dentro e entre os departamentos de uma mesma empresa e nas relações interempresariais. O uso desta ferramenta na modelagem proposta, partiu dos levantamentos realizados na fase 5, quando se estabeleceu a arquitetura da modelagem. Para dar efetividade e funcionalidade ao levantamento das variáveis indicadas no Quadro 41, da fase 5, construíram-se as matrizes de análise estrutural e as MICMACs em cada nível de integração: **elementar, intermediário e superior**, envolvendo as empresas **focal, fornecedora e cliente**. A construção destas matrizes não foram mostradas no trabalho, por conterem as relações de influência, o grau de influência entre as variáveis e a hierarquização das variáveis, representando aspectos estratégicos para as referidas empresas. Contudo, apresenta-se no Apêndice F, um exemplo simplificado do processo de elaboração das matrizes com algumas variáveis selecionadas do nível elementar da arquitetura proposta, contidas no Quadro 41.

O preenchimento da matriz de análise estrutural e das MICMACs foi feito com base nas variáveis estabelecidas no Quadro 41, a partir do qual, foram geradas as Figuras 32,33,34, 35 e 36, as quais ilustram os relacionamentos dentro e entre as empresas selecionadas para a validação da modelagem.

Além da matriz de análise estrutural e das MICMACs, foi desenvolvido um instrumento de apoio para complementar, aprimorar e fortalecer a interpretação dos resultados gerados por essas matrizes. Os critérios indicam o grau de importância das interações no funcionamento da empresa, bem como os problemas que as interações com maiores graus de importância podem trazer ao seu funcionamento, caso elas possuam energia competitiva de soma zero ou negativa. Assim, alguns critérios foram estabelecidos para designar os graus de intensidade das interações e os problemas que elas podem gerar ao desempenho do produto final. O Quadro 43 mostra estes critérios e exemplifica o emprego deste instrumento.

A classificação das interações, em constitutiva e agregativa, assumidas nesse trabalho, é fundamentada em alguns pesquisadores, dentre eles Heylighen (1988), que faz uma analogia das interações constitutivas aos processos biológicos de mutação e das interações agregativas aos processos biológicos de recombinação. É importante ressaltar que, o levantamento do perfil das interações é muito subjetivo, exigindo habilidade e bom senso do pesquisador. A maioria dos critérios para classificação das interações é qualitativo, dependendo da interpretação dos agentes envolvidos direta e indiretamente no processo e da percepção do pesquisador, como pode ser observado no Quadro 43. Notou-se, também que, uma interação

pode ser competitiva e possuir um grau de intensidade muito forte, exercendo grande influência sobre o desempenho do produto final. As interações com essas características são as mais problemáticas para as empresas e, no caso da empresa focal, existem muitas interações desse tipo.

Critérios para classificar os tipos de interações						
Variáveis	Grau de importância da interação, para a empresa, em função dos requisitos.....	Condição para o valor assumido na escala	Escala atribuída a importância das interações	Tipo de interação	Energia predominante	Efeitos no funcionamento o da empresa
Subsistemas e Processos	Pré-requisito para a existência de outros processos.	Possui todos os requisitos.	4	Constitutiva Agregativa	Cooperativa Competitiva	Se possui grau de importância 4 é constitutiva e possui energia competitiva.... então afeta...
	Afeta o resultado financeiro da empresa.	Possui três requisitos.	3			
	Mais de um subsistema é afetado.	Possui dois requisitos.	2			
	Interfere no desempenho do produto final, gerando reclamações por parte do cliente final.	Possui apenas um requisito.	1			
		Não possui nenhum dos requisitos citados.	0			

Quadro 43: Critérios para classificar as interações

As Figuras 32, 33 e 34 apresentam os três primeiros mapas, representando a dinâmica das interações da **empresa focal**, da **empresa fornecedora** e da **empresa cliente** do **nível elementar** componente da arquitetura estabelecida na fase 5. O objetivo da análise, nesse nível, é identificar como ocorrem as interações dentro de cada empresa participante da cadeia de suprimentos, identificando as interações dentro e entre os departamentos de cada empresa, na qual está sendo validada a modelagem proposta.

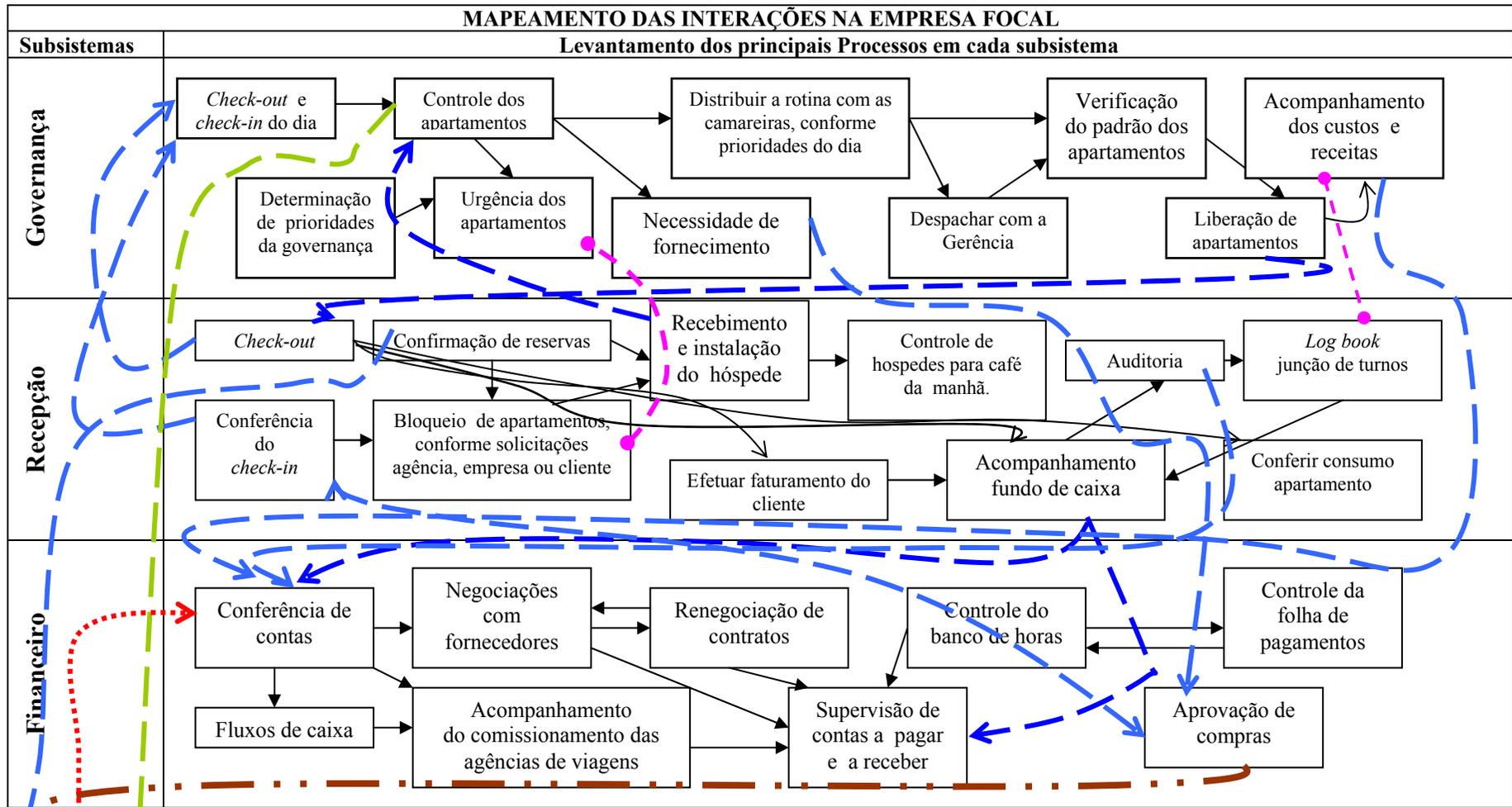


Figura 32: Mapeamento das interações na empresa focal (continua.....)

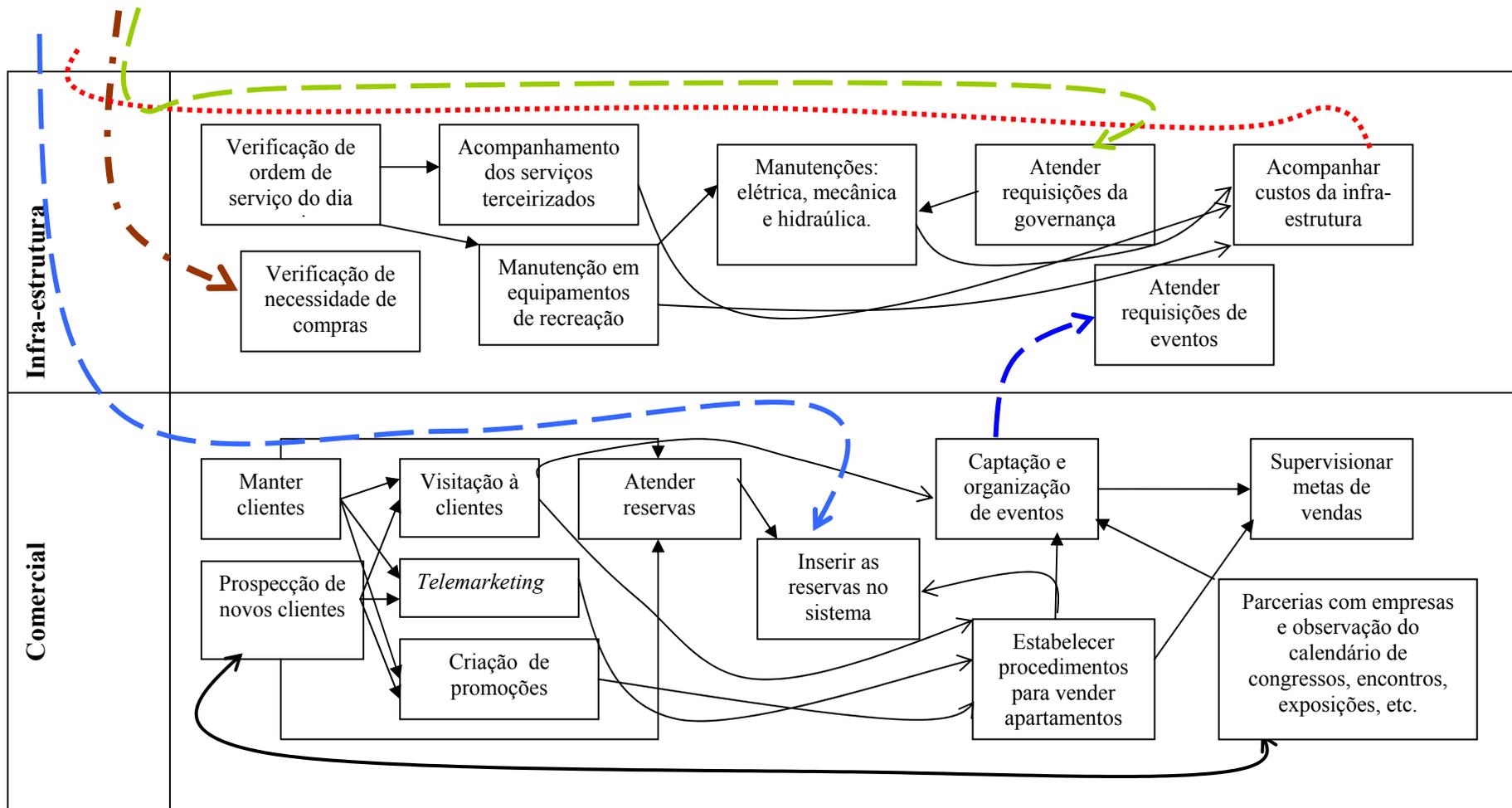
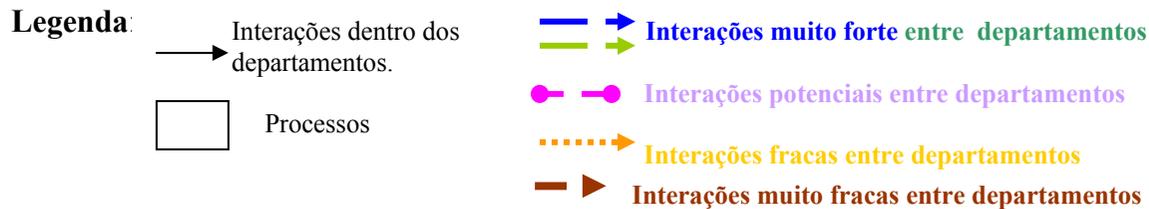


Figura 32: Mapeamento das Interações na empresa focal (...Conclusão)



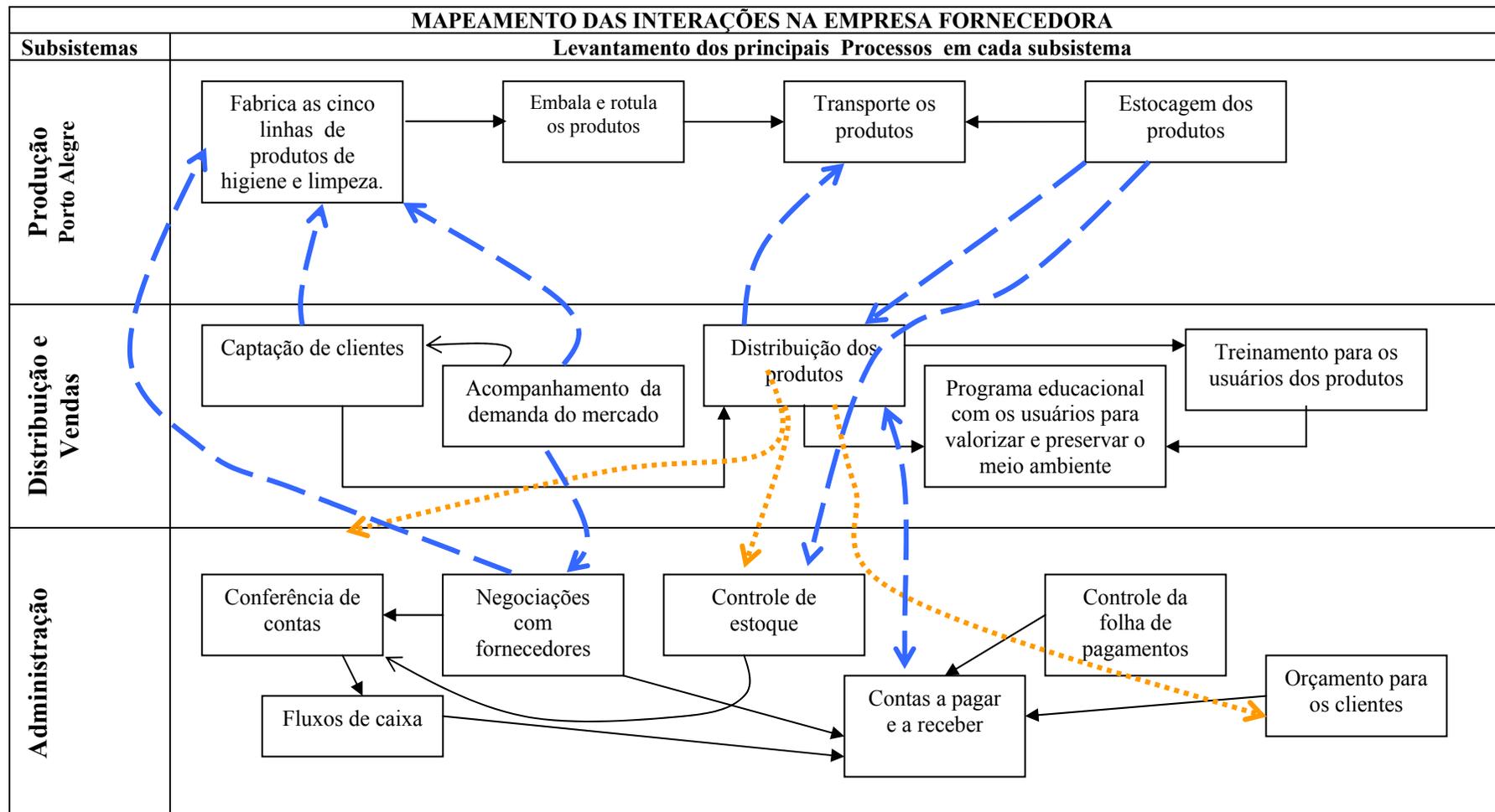
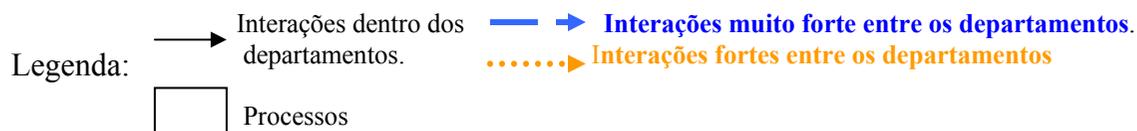


Figura 33: Mapeamento das interações na empresa fornecedora



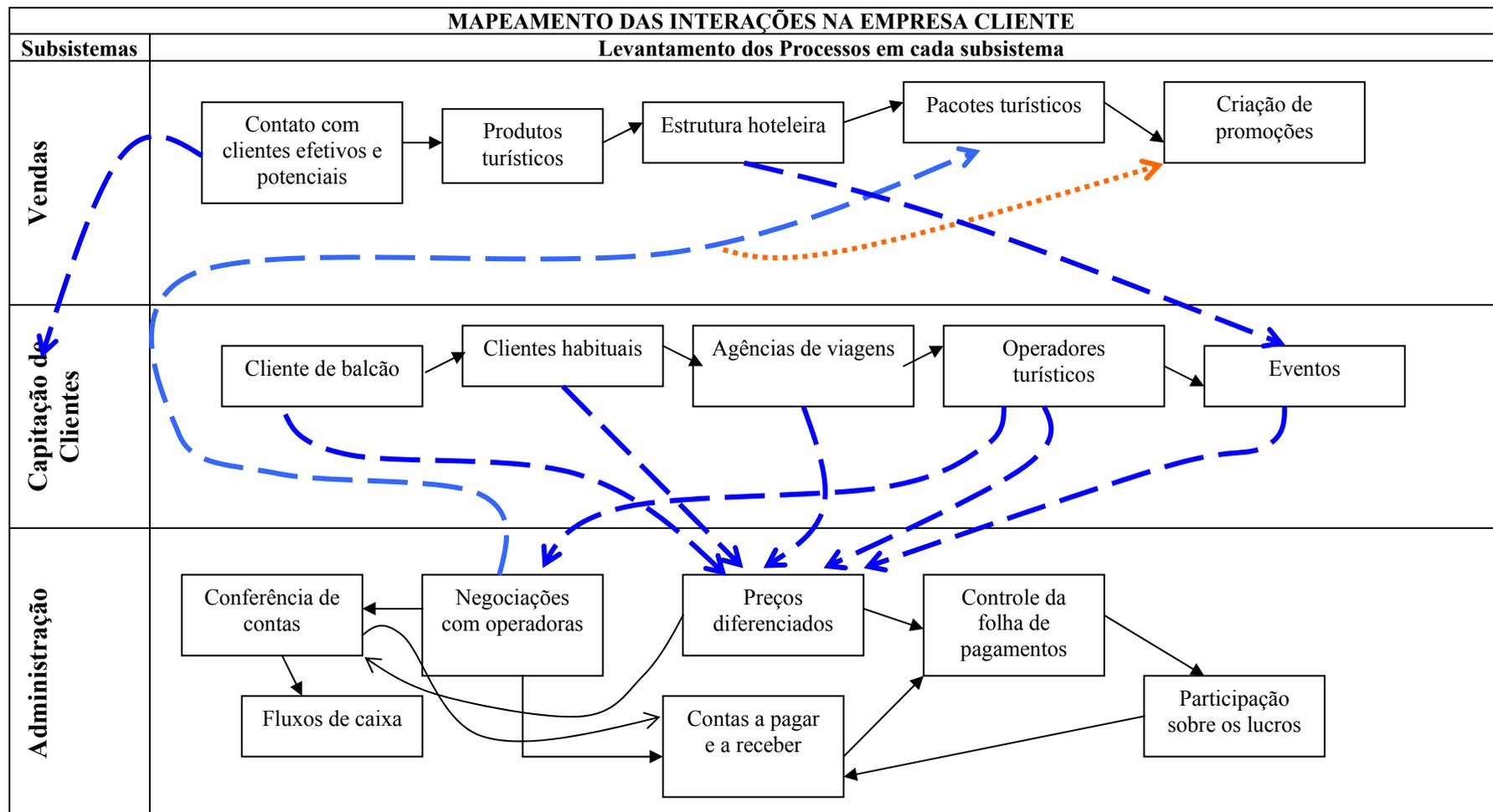
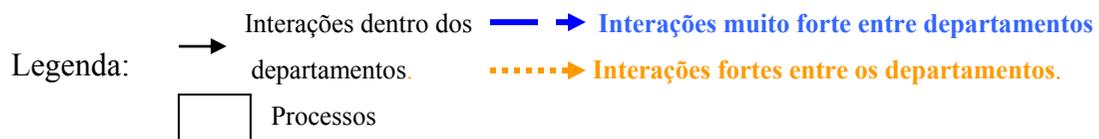


Figura 34: Mapeamento das interações na empresa cliente



A Figura 32 apresenta os relacionamentos dentro da empresa focal, destacando as interações dentro e entre os subsistemas (departamentos). Nota-se que o fluxo de informações entre os departamentos é tão ou talvez mais importante que as interações dentro deles. Para exemplificar, destaca-se o fluxo de informações entre os departamentos comercial, recepção, financeiro e governança, fundamental para que estes departamentos isolados cumpram o objetivo comum de atender eficientemente ao cliente final.

A Figura 33 mostra as relações dentro da empresa fornecedora, destacando a importância delas entre os departamentos de produção, distribuição e vendas. Sem o fluxo de informações entre esses departamentos, torna-se difícil produzir para atender eficientemente a demanda do mercado. Da mesma forma, a Figura 34 evidencia a dependência do departamento administrativo da empresa cliente, em relação às informações emitidas pelo departamento de captação de clientes. Assim, em conformidade com o Quadro 40, as Figuras 32, 33 e 34 representam o **nível elementar** componente da estrutura vertical da arquitetura proposta para a modelagem. A distribuição dos processos e a maneira como eles interagem dentro de um mesmo departamento ou de outros da mesma empresa, constituem a estrutura horizontal desta modelagem. O nível elementar forma a base (as condições iniciais) para se estabelecer uma cadeia de suprimentos, pois a partir do conhecimento dos relacionamentos internos das empresas, é possível perceber a visão que os agentes possuem em relação a necessidade de integração, do compartilhamento de informações, do estabelecimento de relações de confiança de longo prazo, ao invés de relações apenas transacionais, visando o menor preço do mercado.

Com a pesquisa feita, constatou-se que no nível elementar, no qual as empresas são analisadas a partir das relações internas, sem que sejam consideradas as conexões externas, as interações ocorrem em ciclos rápidos e curtos, fato que contribui para a rotina de interações se tornar praticamente despercebida pelos agentes que as executam. Como nesse nível a preocupação é identificar os tipos de relacionamentos dentro das empresas, o grau de dificuldade é menor, porque a empresa está sendo analisada fechada, sem comunicação com o mercado ou com outras empresas.

Nessa perspectiva, a **empresa focal** foi dividida em subsistemas (Governança, Recepção, Financeiro, Infra-estrutura e Comercial) e estes em processos, que se mantêm pelas relações firmadas entre eles. A partir do mapeamento das interações da empresa focal, por meio do emprego da matriz de análise estrutural, das MICMACs e do instrumento exemplificado no Quadro 43, constatou-se que, dentro dos seus subsistemas, a maioria das interações são constitutivas e muito fortes e, entre estes agregativas e muito fortes. As

interações constitutivas são aquelas que já surgem juntas, tais como: os processos *Check-in* e *Check-out*, do subsistema Governança. As interações agregativas são combinadas para melhorar o desempenho dos processos, tais como: necessidade de compra estabelecida pelo subsistema Governança e a aprovação das solicitações de compras, estabelecido pelo subsistema Financeiro.

Observando-se a dinâmica das interações da empresa focal, percebeu-se que as interações agregativas, em sua maioria, possuem energia competitiva e as interações constitutivas energia cooperativa. Para captar estas informações, foi utilizado como roteiro de observação os aspectos listados no Apêndice E. As interações constitutivas são formadas dentro dos subsistemas (Governança, Recepção, Financeiro, Infra-estrutura e Comercial) e, em sua maioria, são colaborativas, como por exemplo, as interações entre a governanta e as camareiras no subsistema Governança. Elas trabalham colaborativamente e executam suas funções em sinergia. Já os relacionamentos entre os Subsistemas: Governança, Comercial e Recepção, apesar de fundamental para que o produto final atenda com perfeição as necessidades do cliente final, são interações agregativas e exibem energia competitiva. No decorrer da pesquisa, levantaram-se as interações entre todos os subsistemas e processos da empresa focal, evidenciando-se que, muitas das mais importantes interações para o desempenho satisfatório do produto final exibem competição de soma zero ou negativa (ver Capítulo 2, seção 2.4.2.1). O levantamento completo realizado na pesquisa, contendo todas as interações dentro e entre os subsistemas e processos da empresa focal, bem como a energia predominante, a intensidade (muito forte, forte, fraca, muito fraca ou potencial), a relação de importância das interações para o perfeito desempenho do produto final, foram apurados com o uso da matriz de análise estrutural, das MICMACs e do instrumento mostrado no Quadro 43. Porém, tal levantamento não foi publicado nessa tese, para preservar informações, consideradas estratégicas para a empresa. Apesar disso, pode-se mencionar que a maioria das interações entre os subsistemas e processos apresenta energia competitiva, como também, constatou-se a ocorrência desta energia dentro dos subsistemas. Identificou-se também, algumas relações de poder entre os departamentos e, em consequência disso, a retenção de informações.

Da mesma forma que se procedeu com a empresa focal, na **empresa fornecedora**, foram levantadas às interações entre e dentro dos subsistemas: Produção, Distribuição, Vendas e Administração, destacando as interações cooperativas e as competitivas, bem como as intensidades das interações. Com a pesquisa constatou-se que, a empresa fornecedora possui todas as interações com energia cooperativa, situação diferente foi encontrada na

empresa focal. Os três departamentos da empresa fornecedora apresentam funcionamento sincronizado com fluxo adequado de informações, os agentes possuem autonomia na tomada de decisão e existe um entrosamento interno típico de sistemas com alto grau de complexidade.

Na **empresa cliente** foram levantadas as interações entre e dentro dos subsistemas: Vendas, Captação de Clientes e Administração, constatando-se que a empresa possui interações sinérgicas dentro e entre seus departamentos que afetam positivamente o desempenho do seu produto final e da cadeia de suprimentos. Com a pesquisa evidenciou-se, também, que a empresa cliente demonstra poucas interações competitivas, apresentando a maioria das interações cooperativas.

A Figura 35 ilustra o **nível intermediário** da estrutura vertical da arquitetura proposta na modelagem (ver Quadro 40). Nele, estão contidos os subsistemas e processos que precisam comunicar-se para que as empresas funcionem integradas, obtendo melhores resultados que se funcionassem isoladas. Isto confirma uma característica básica dos sistemas complexos: o todo não é igual à soma das partes; pode ser mais ou menos, dependendo das associações feitas. Esses subsistemas e processos usualmente apresentam relacionamentos estáveis e de longo prazo. Para analisar os relacionamentos entre os processos das três empresas modeladas, foram usados a matriz de análise estrutural, a MICMAC e o instrumento complementar elaborado, conforme mostra o Quadro 43 e os roteiros de observações dos Apêndices D e E. Os resultados obtidos foram: os processos compartilhados entre as empresas, o nível de colaboração entre eles e o grau de confiança entre os relacionamentos. As interações entre as empresas formam a estrutura horizontal da arquitetura proposta na modelagem.

A Figura 35 expõe os processos de cada uma das empresas analisadas, que se comunicam diretamente com os subsistemas que formam suas estruturas. Os processos contidos nas Figuras 32, 33 e 34, que não aparecem na Figura 35, são justificados pela ausência de interações entre eles e os outros departamentos da empresa. Em outras palavras, os processos excluídos da Figura 35, se relacionam apenas dentro dos subsistemas que os originaram. As interações dentro dos departamentos estão ilustradas nas Figuras 32,33 e 34.

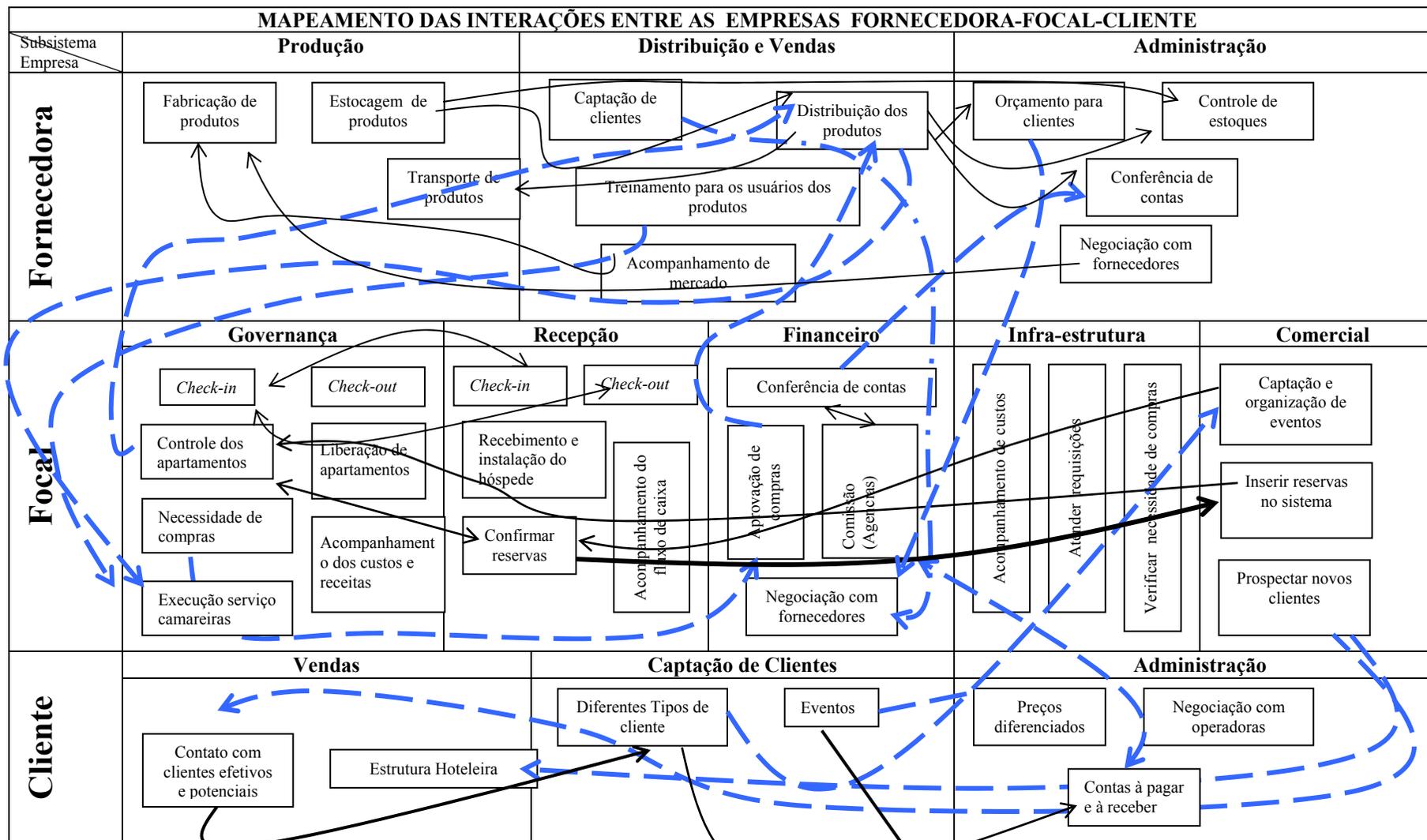


Figura 35: Mapeamento das interações nas empresas Fornecedora-Focal-Cliente

Legenda:
 Processos
 Interações dentro dos departamentos.
 Interações muito forte entre as empresa

Dentro de uma mesma empresa e entre seus departamentos, as interações mantidas na Figura 35 são as consideradas mais importantes para o cumprimento dos propósitos da empresa focal. Existem várias outras interações que foram excluídas desse trabalho, por solicitação das empresas. Entretanto, estão demonstradas as interações que são essenciais a integração das referidas empresas.

A partir do mapeamento das relações entre as três empresas selecionadas, foi possível perceber quais subsistemas e processos precisam ser inter-relacionados, para que a empresa focal atinja seus objetivos. Com a pesquisa, observou-se que, no caso das três empresas expostas na Figura 35, os subsistemas que precisam comunicar-se e interagir continuamente para que seja configurada uma cadeia de suprimentos, são os sumarizadas na seqüência, no Quadro 44.

Empresas	Inter-relação entre Subsistemas e Processos	
	Subsistemas	Processos
Focal	Comercial	Reservas
		Prospecção de novos clientes
		Captação e organização de eventos
	Financeiro	Conferência de contas
		Aprovação de compras
		Comissão para agências
		Negociação com fornecedores
	Governança	Controle de apartamentos
		Necessidades de compras
		Execução do serviço de quarto - camareiras
Recepção	Confirmação de reservas	
Fornecedora	Distribuição e Vendas	Distribuição de produtos
		Treinamento para os usuários dos produtos
	Administração	Orçamento para clientes
		Conferência de contas
Cliente	Vendas	Contato com clientes efetivos e potenciais
		Estrutura hoteleira
	Captação de Clientes	Diferentes tipos de clientes
		Eventos
	Administração	Contas a pagar e a receber

Quadro 44: Inter-relações entre Subsistemas e Processos das empresas membros da cadeia de suprimentos imediata.

Conforme apresentado no mapeamento da Figura 35, para que as empresas funcionem integradas, é preciso compartilhar informações através da comunicação entre os processos de alguns de seus subsistemas (departamentos). O Quadro 44 mostra os subsistemas e os processos que precisam ser integrados entre as três empresas modeladas. A partir da pesquisa realizada na empresa focal, da qual determinou-se as empresas membros da cadeia de suprimentos, observou-se que com estas duas empresas, os relacionamentos são estáveis e formam ciclos adaptativos, pois se mantêm a mais de dois anos, com resultados satisfatórios,

para as três empresas. As empresas demonstram satisfação com os resultados que estão obtendo das relações conjuntas. Entre a empresa fornecedora e a empresa focal, existe um rigoroso cumprimento dos prazos de entrega dos produtos de higiene, apesar de não possuírem instrumentos eletrônicos compartilhados, que indiquem a necessidade de reposição de produtos *on-line*. O treinamento oferecido pela empresa fornecedora elimina o desperdício no uso dos produtos de limpeza e gera efeitos positivos a auto-estima das camareiras, fatos que repercutem na qualidade do serviço final. A empresa cliente possui instrumentos para auxiliar a integração entre aquelas com as quais se relaciona, usando a Transferência Eletrônica de Dados (EDI), detalhada no Capítulo 4, seção 4.3.3, Quadro 19, a qual agiliza e flexibiliza o processo de bloqueio de apartamentos na empresa focal. É importante ressaltar que, a empresa focal mantém muitos outros relacionamentos com base em acordos abertos e transações únicas, empregando o sistema de licitação. Ressalta-se, também que, as iniciativas colaborativas partem das duas empresas membros da cadeia analisada nesse trabalho. Apesar disso, a empresa focal expressa o desejo de evoluir para relacionamentos mais cooperativos, nos quais todos os membros componentes de sua rede de relacionamentos sejam parceiros integrados à estratégia e aos propósitos da empresa focal, configurando uma cadeia de suprimentos. O primeiro passo nessa direção, foi dado quando a referida empresa reconheceu seu baixo nível de evolução em complexidade e criou medidas para se aprimorar internamente, selecionar futuros parceiros e avaliar os já existentes. Iniciativas contemplados na fase 3 da modelagem.

No **nível intermediário** da estrutura vertical da arquitetura, é possível identificar os relacionamentos estáveis que formam ciclos adaptativos analisando: o tempo de relacionamento, a confiabilidade entre os relacionamentos e a repetição do mesmo relacionamento. Para obter tais informações, usou-se como base o levantamento feito no **nível elementar**, no qual se estabeleceu as interações, dentro e entre os subsistemas de cada empresa membro da cadeia de suprimentos. Destacaram-se as interações com maior grau de importância, conforme Quadro 43, bem como os tipos de interações e a energia predominante nelas. A partir dessas informações apontou-se de quais processos e subsistemas saem os relacionamentos interempresariais, como mostra a Figura 35, identificando os efeitos das interações com energia competitiva na configuração dos relacionamentos integrados. O Quadro 45 ilustra um exemplo da caracterização do processo de integração das três empresas envolvidas na modelagem. Ainda no nível intermediário, é possível caracterizar a integração dos subsistemas e dos processos, identificando a configuração assumida pelas interações entre as três empresas, como representado sucintamente no Quadro 45. Os ciclos adaptativos

encontrados na integração das três empresas, possuem estabilidade nos relacionamentos firmados, porém acontecem em períodos curtos e são rápidos na integração a outros processos. Como a empresa focal é prestadora de serviços, a rapidez é um requisito para qualidade destes serviços. A caracterização dos demais processos que integram a cadeia de suprimentos imediata modelada neste trabalho, não foi incluída na tese para resguardar informações estratégicas das empresas.

Caracterização do processo de integração das empresas focal, fornecedora e cliente					
Empresas	De onde partem os relacionamentos interempresariais....	Que tipo de interação ela forma com a próxima interação?	Qual a energia predominante?	Qual o grau de importância da interação para a integração das empresas?	Ela faz parte de um ciclo adaptativo?
	Subsistema Governança Processo: necessidade de compra	Constitutiva com o processo: aprovação de compra, do Subsistema Financeiro,	Cooperativa Mútua colaboração	4	Sim, são interações estáveis e que se repetem.
Fornecedora		Agregativa: com o processo: distribuição de produtos, do Subsistema distribuição e vendas	Cooperativa Mútua colaboração	3	Sim, são relações estáveis e que se repetem.
Cliente					

Quadro 45: Caracterização do processo de integração das empresas focal, fornecedora e cliente

A Figura 35 representa os processos que precisam comunicar-se e se integrar para configurar o nível de integração intermediário. A Figura 36 demonstra o **nível superior** da estrutura vertical da arquitetura proposta na modelagem. Ela representa a fronteira que delimita a atuação da modelagem, sendo composta dos relacionamentos integrados e representam a cadeia de suprimentos da empresa focal. O comportamento das interações entre as empresas, perfaz a estrutura horizontal, que constitui a arquitetura da modelagem proposta. Ainda na Figura 36, os subsistemas considerados em cada empresa são apenas os que se relacionam com as outras empresas componentes da cadeia de suprimentos. As interações destacadas na referida Figura são aquelas que, se não ocorrem ou ocorrem com energia apenas competitiva, podem comprometer e impossibilitar a integração da cadeia. No caso das interações entre as empresas na cadeia de suprimentos, procedeu-se da forma descrita no Quadro 43. Primeiro levantou-se todas as interações, depois classificou-as como agregativa ou constitutiva, em seguida especificou-se a energia predominante nelas e por fim atribuiu-

lhes um grau de importância. O levantamento completo destas interações não foram incluídos na tese.

Os relacionamentos são iniciados pela **empresa focal**, líder da cadeia, quando o **subsistema Governança**, identifica a **necessidade de reposição de produtos**. Neste caso, é iniciado pela Governança, porque a empresa fornecedora repõe os produtos de higiene e limpeza, como apresentado no início desse Capítulo, mais especificamente na Figura 30. A **solicitação da Governança** segue para o **subsistema Financeiro** da **empresa focal**, o qual **autoriza a reposição**. A partir dessa autorização, a **Governança contata a empresa fornecedora**, a qual faz um **orçamento de preços**, baseado na quantidade de produtos pedidos pela Governança. O orçamento é encaminhado para o **subsistema Financeiro** da **empresa focal**, que **negocia o preço** e finalmente **autoriza a reposição**. O processo *orçamento de preços* não é mais utilizado com as referidas empresas, pois já apresentam relações estáveis e de confiança, contudo com outras empresas, ainda é uma prática empregada. Assim, a **empresa fornecedora**, por meio do **processo distribuição de produtos**, supre as necessidades de produtos de higiene e limpeza da empresa focal, a partir da **entrega e treinamento para uso dos produtos pelas camareiras**, interagindo com o **subsistema financeiro** para receber seu **pagamento**. A relação da **empresa focal** com a **empresa cliente**, inicia-se no **subsistema comercial** da **empresa focal**, por meio do processo **prospectar novos clientes**. Este processo se comunica com a **empresa cliente**, por meio do processo **contato com clientes efetivos e potenciais** pertencente ao **subsistema Vendas**, disponibilizando seus serviços para serem divulgados e oferecidos pela empresa cliente. A empresa cliente, de acordo com o público atendido pela empresa focal (Hotel especializado em atender turistas em viagens de negócios) capta clientes e eventos, comunicando o fato ao **subsistema comercial** da empresa líder, por meio do processo **captação e organização de eventos**, que por sua vez informa ao **subsistema Recepção**, por meio do **processo Reservas**, e este comunica a **Governança** as novas reservas para o **controle dos apartamentos**. Ao mesmo tempo, o subsistema – **Administração da empresa cliente**, por meio do processo – **Contas a receber e a pagar** contata o **subsistema Financeiro** da **empresa focal** a fim de receber sua **comissão monetária** sobre o repasse de clientes. O **subsistema financeiro** confere suas contas e repassa o valor monetário para a **empresa cliente**.

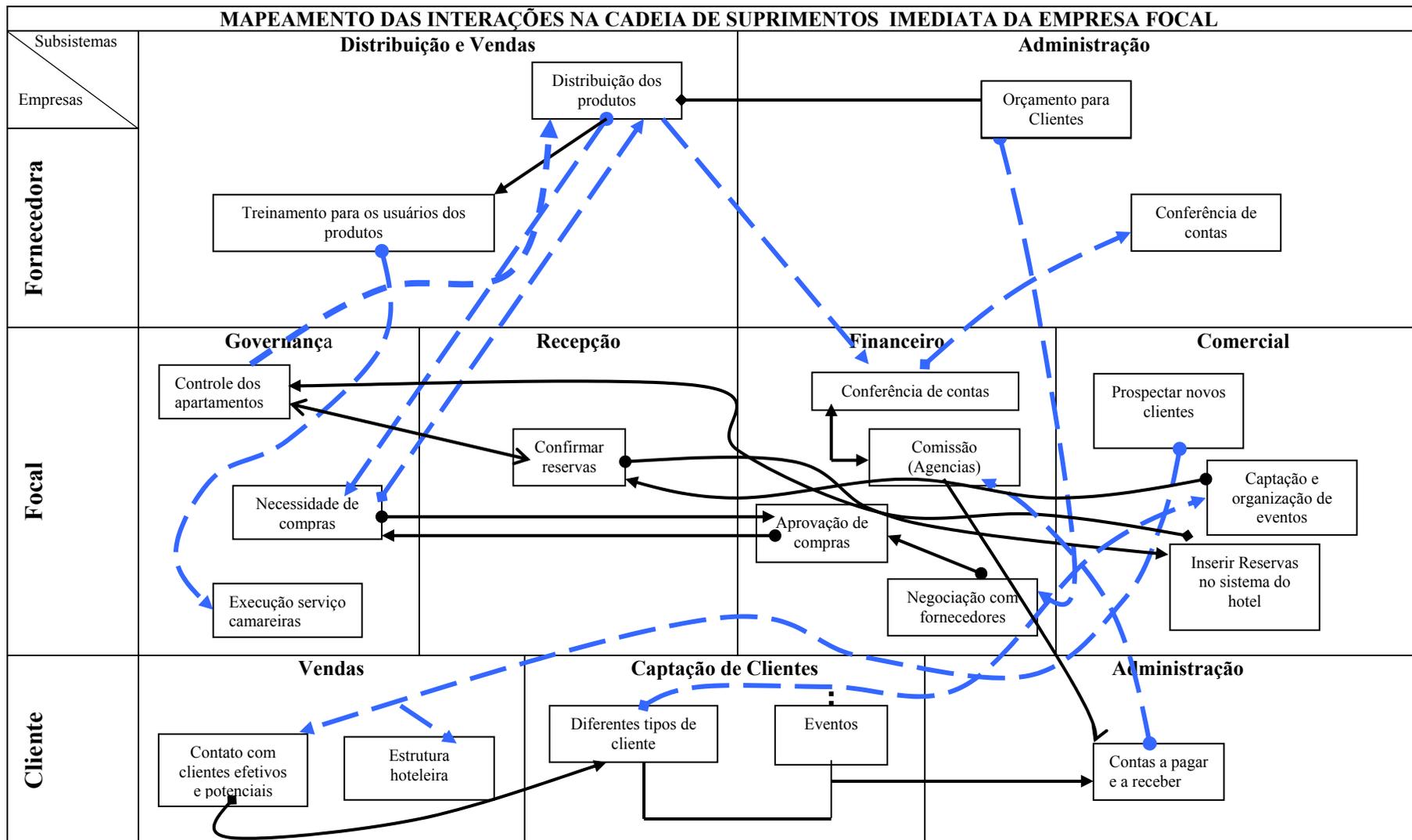


Figura 36: Mapeamento das interações na cadeia de suprimentos imediata da empresa focal

Legenda: Interações dentro dos departamentos. Interações muito forte entre as empresas. Processos

A Figura 36 mostra apenas os subsistemas e os processos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal, que se relacionam e, em algumas interações exibem *loops* de *feedbacks*, como ocorre entre as empresa fornecedora e focal, nas interações entre distribuição de produtos e necessidade de compra.

Apesar da empresa focal demonstrar interesse em construir relações cooperativas com as empresas membros da cadeia de suprimentos, atualmente nem todos os processos mapeados na Figura 36 são integrados. As relações acontecem sem maiores vínculos estratégicos, ou seja, as empresas se relacionam sem que estejam integradas aos propósitos da empresa focal. A intenção é integrar os parceiros aos seus propósitos.

O último nível estabelecido para a modelagem proposta, é delimitado pela cadeia de suprimentos imediata da empresa focal. Os tipos de interações e a energia que rege essas interações foram identificadas, deste os níveis elementar e intermediário, indicando os graus de importância das interações e as interferências delas no desempenho do produto final. Os ciclos adaptativos também foram identificados, manifestando-se, em sua maioria, em curtos e rápidos ciclos, mesmo no nível superior. Esse fato demonstra que a estabilidade está presente em poucas interações, motivo pelo qual necessita ser observado e acompanhado. As interações com energia competitiva de soma zero ou negativa deve ser a maior preocupação da empresa focal. Partindo dessa constatação, desenvolveu estratégias internas, que evidenciam as vantagens da cooperação entre os funcionários, acreditando que tal cooperação interna transcenda as fronteiras organizacionais e contribua para o estabelecimento de relações de parceria em toda sua rede de relacionamentos. As estratégias estabelecidas também não serão transcritas nesse trabalho, por motivos já expostos anteriormente.

Em resumo, com relação à aplicação da matriz de análise estrutural, da MICMAC e do instrumento apresentado no Quadro 43, pode-se concluir que, a matriz de análise estrutural expõe as influências diretas e indiretas de um processo em relação a outro, resultado considerado estratégico pelos dirigentes das empresas envolvidas na modelagem, não sendo divulgado no trabalho. Contudo, pode-se mencionar que, os resultados obtidos indicaram que a maioria das interações internas a empresa focal exercem forte influência sobre as demais interações da cadeia, afetando negativamente o desempenho da cadeia, porque liberam energia competitiva na maioria de seus relacionamentos internos, o que pode ser constatado, comparando os resultados da matriz estrutural com o levantamento indicado no Quadro 43. A empresa fornecedora possui todas as interações cooperativas, exercendo influências positivas sobre os processos da empresa focal. A empresa cliente possui a maioria das interações cooperativas, influenciando diretamente no desempenho da empresa focal. É importante

ressaltar que, as relações na cadeia de suprimentos ocorrem em pares de empresas e que o funcionamento sinérgico de duas empresas tende a se propagar para outros relacionamentos a jusante ou a montante da empresa focal. Destaca-se ainda que, os relacionamentos se dão sempre da empresa focal em direção a montante ou a jusante da empresa líder, não havendo relacionamentos diretos entre os processos ou subsistemas da empresa fornecedora com a empresa cliente.

Depois de construída a matriz de análise estrutural, usou-se a MICMAC, com o objetivo de identificar os processos com maior grau de autonomia e dependência. Esse procedimento, serviu para indicar quais processos componentes dos três níveis analisados (elementar, intermediário e superior), exercem a função de ligação entre outros processos, subsistemas, e outras empresas, além de indicar os processos diretamente ligados ao desempenho do produto final da empresa focal, tais como: os processos que podem ser excluídos, os processos totalmente autônomos e processos totalmente dependentes. A MICMAC também permitiu identificar os processos mais estáveis e os mais instáveis em função do grau de autonomia e de dependência que eles possuem. Os resultados foram elencados e entregue aos dirigentes da empresa focal e, a partir deste, para as demais empresas envolvidas na modelagem. Anexados à lista, enviou-se o levantamento indicado no Quadro 43, o qual foi elaborado sem nenhuma ferramenta específica, apenas da observação, das entrevistas com os agentes e do acesso aos documentos das empresas, mas que levou a resultados muito próximos dos obtidos com a MICMAC. A comparação permitiu perceber que, a falta de colaboração dentro da empresa focal, constatada pelo grande número de interações competitivas é o grande causador da instabilidade dos processos, os quais são atraídos por processos de subsistemas mais autônomos. Eles perdem totalmente a capacidade de autonomia. Esse fato ocorre pelo desconhecimento de alguns processos, representados pelos agentes que os executam e do poder de influência que exercem sobre os outros. Percebeu-se também, que os agentes que fazem parte de processos instáveis e dependentes são desmotivados e encaram as atividades como sacrifício, não contribuindo positivamente para o progresso da empresa, e nem para sua cadeia de suprimentos. Os dirigentes das empresas envolvidas, principalmente da empresa focal, demonstraram interesse em intervir no panorama apresentado e entendem que as interações dentro de sua própria empresa, podem funcionar como o principal empecilho para um eficiente relacionamento entre as empresas componentes da sua cadeia de suprimentos. A lista com tais informações, também não foi possível divulgar por solicitação dos dirigentes das empresas envolvidas.

Para confirmar a influência dos processos na cadeia, a MICMAC permite hierarquizar e comparar a classificação dos processos com influências direta, indireta e potencial, podendo-se evidenciar processos ocultos, aqueles que não tinham sido notados no decorrer da análise das variáveis (processos, subsistemas e empresas), nem citados pelos agentes entrevistados, mas que exercem forte influência no desempenho do produto final. Nesse trabalho, foram evidenciados 10 processos ocultos.

A partir do levantamento e classificação das interações ocorridas, dentro e entre as três empresas analisadas, pôde-se identificar algumas características de cada uma delas, que apontam a capacidade para a auto-organização.

Etapa 5: Indicação da auto-organização da cadeia de suprimentos

Como estabelecido na etapa 1, o observador se guia por três dimensões para atribuir dinâmica a arquitetura estática, apresentada na fase 5: pela própria arquitetura que dá suporte à dinâmica da cadeia de suprimentos; pelo comportamento das interações evidenciadas na identificação dos tipos de interações (constitutivas e/ou agregativas) e na energia gerada por elas (competitivas e/ou cooperativas) e pela observação do processo de auto-organização das empresas. Para o entendimento do processo de auto-organização, são necessários o conhecimento da arquitetura estabelecida para o funcionamento integrado da cadeia de suprimentos e a identificação do comportamento da dinâmica das interações, das empresas envolvidas na modelagem.

A arquitetura da modelagem proposta é composta de duas estruturas: vertical e horizontal, seguindo a lógica das estruturas quase decomponíveis e hierárquicas instituídas por Simon (1969), abordagem detalhada no Capítulo 2, seção 2.4.3.1. O conceito de hierarquia, é empregado nesta modelagem, como norteador do processo de auto-organização, o qual é associado ao conceito de fechamento organizacional surjectivo estabelecido por Heylighen (1988), detalhado no Capítulo 3, seção 3.3.1.2.3. O Quadro 46 mostra algumas das características, como apontadas na fase 5, etapa 5, da modelagem proposta, que identificam a capacidade de auto-organização da cadeia de suprimentos modelada.

A partir da aplicação das fases e etapas propostas nesta modelagem, percebeu-se que as empresas fornecedora e cliente, em decorrência do nível mais alto de evolução em complexidade, apresentam maior reconhecimento da sua capacidade de auto-organização em relação à empresa focal. Contudo, com o processo de implementação da referida modelagem,

os dirigentes da empresa focal percebem que pode obter sinergias dos relacionamentos com as empresas membros de sua cadeia de suprimentos, bem como a importância da percepção das emergências dos relacionamentos internos e externos da empresa. No Quadro 46, observa-se a capacidade de auto-organização, com base em algumas características, das três empresas analisadas.

Com a validação das seis fases propostas na modelagem, os dirigentes da empresa focal perceberam alguns aspectos preocupantes no seu funcionamento, motivo pelo qual estabeleceu iniciativas para elevar seu nível de evolução em complexidade, mudando gradativamente a qualidade de suas interações internas para os relacionamentos interempresariais. Essas iniciativas não puderam ser apresentadas no trabalho, por representar questões estratégicas para a empresa e sua cadeia de suprimentos.

Etapa 6: Monitoramento do funcionamento da cadeia de suprimentos

A modelagem proposta está sujeita a percepção do observador e é extremamente sensível a mudança nas interações, dentro e entre as empresas, por esse motivo precisa ser monitorada continuamente. Durante a validação foram realizadas três reuniões, com intervalos de três meses de uma para outra, em conjunto com a presença do Gerente da empresa Cliente; a Sócia da empresa Fornecedora e quatro Supervisores dos departamentos (Governança, Financeiro, Recepção e Comercial) da empresa focal. A primeira reunião foi realizada quando se determinou o nível de evolução em complexidade de cada empresa. Ela ocorreu porque os níveis encontrados foram diferentes, havendo a necessidade de proceder a uma discussão para decidir sobre a continuidade do projeto. A segunda reunião foi para discutir o estabelecimento da arquitetura da modelagem e a terceira para criar iniciativas de melhoria conjuntas para as empresas membros da cadeia de suprimentos. O ideal para implementação da modelagem, é que seja criado um grupo de avaliação permanente, envolvendo membros do nível estratégico das empresas modeladas. Nesse trabalho, não houve o estabelecimento formal desse grupo, mas as pessoas das três empresas se mostraram sempre atenciosas e comprometidas em discutir as questões relativas a modelagem proposta.

Características que indicam a capacidade de auto-organização das empresas					
Empresas	Autonomia	Fechamento organizacional	Formação de novas estruturas	Reconhecimento de Padrões	Percepção da capacidade de auto-organização
Focal	1) Poucos processos autônomos; (2) processo variação-seleção falho; (3) tomada de decisão concentrada na gerência, fato que inibe a efetividade das emergências vindas das interações; (4) muitos processos instáveis.	A empresa, apesar de possuir um <i>Status</i> privilegiado no mercado (Quadro 34), não possuía controle sobre as interações mais estáveis, autônomas e dependentes, não conseguindo selecionar e hierarquizar as interações mais importantes para construir uma organização interna mais resistente às perturbações do mercado.	Está associada ao processo de interação. Nessa empresa, observou-se tanto interações constitutivas, como agregativas. Destacando-se muitos processos de mutação, ou seja, os processos se alteram, mudando sua estrutura sem consultar outro diretamente relacionado (típico de processos altamente competitivos), criando uma nova estrutura que desfavorece o processo com o qual interage.	Como a empresa não possui uma memória de erros e acertos na tomada de decisão, tem dificuldade em reconhecer idéias, estratégias e atitudes que deram certo e que podem ser repetidas e as que não deram certo, que devem ser reexaminadas.	Na modelagem proposta, a intenção é que as empresas ganhem habilidade em perceber seu processo de auto-organização, seguindo a lógica dos níveis hierárquicos estabelecidos por Simon (1969).
Fornecedora	(1) A maioria dos processos são autônomos; (2) processo variação-seleção é eficiente; (3) tomada de decisão descentralizada, fato que possibilita as emergências vindas das interações; (4) muitos processos estáveis.	A empresa possui uma organização interna forte, com muita autonomia e estabilidade de processos, fatos que a tornam muito resistentes às perturbações do mercado, ao mesmo tempo em que é flexível e consegue se ajustar às mudanças do mercado.	A maioria das interações são agregativas e com energia cooperativa. Como as interações são mais estáveis e existe mais autonomia, surgem novas estruturas nos processos freqüentemente combatidas ou preservadas, conforme a importância delas no desempenho do produto final.	A empresa possui memória de erros e acertos na tomada de decisão. Isto facilita o reconhecimento de idéias, estratégias e atitudes que deram certo e que podem ser repetidas e as que não deram certo e devem ser reexaminadas.	Na modelagem proposta, a intenção é que as empresas ganhem habilidade em perceber seu processo de auto-organização, seguindo a lógica dos níveis hierárquicos estabelecidos por Simon (1969).
Cliente	(1) Muitos processos autônomos e poucos dependentes; (2) processo variação-seleção é eficiente; (3) tomada de decisão descentralizada, fato que possibilita as emergências vindas das interações; (4) muitos processos estáveis e alguns instáveis.	A empresa, apesar de está num mercado muito competitivo e já está no período de maturidade do seu ciclo de vida, apresenta a organização interna com grande flexibilidade para se ajustar às mudanças do mercado e resistir as imposições da concorrência, se mantendo nos últimos seis anos entre as cinco maiores agências de viagens de Florianópolis.	As interações são agregativas e constitutivas, predominando a energia cooperativa. A maioria dos processos funciona com autonomia e com relações estáveis e regulares com os outros processos. A emergência dos relacionamentos é uma propriedade observada e utilizada pela empresa, estando em constante processo de observação das novas idéias e estratégias surgidas, selecionando as que podem melhorar seu desempenho e excluindo as que podem afetar negativamente seu produto final.	A empresa reconhece a importância de possuir memória de sua trajetória, destacando, os erros e os acertos na tomada de decisão, mas ainda não possui registros formalizados. A falta de registros da trajetória da empresa dificulta o reconhecimento de padrões positivos que reduzam o trabalho na execução de algumas atividades.	Na modelagem proposta, a intenção é que as empresas ganhem habilidade em perceber seu processo de auto-organização, seguindo a lógica dos níveis hierárquicos estabelecidos por Simon (1968).

Quadro 46: Características que indicam a capacidade de auto-organização das empresas

6.2 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A modelagem proposta no Capítulo 5 é genérica e foi direcionada para a representação dos sistemas complexos sociais. Ela não foi elaborada especificamente para a formação e gestão de cadeias de suprimentos. Esse Capítulo mostrou a validação da modelagem genérica em parte de uma cadeia de suprimentos imediata. A modelagem foi fundamentada na estrutura conceitual das Ciências da Complexidade e no paradigma sistêmico, sendo uma proposta para representar sistemas complexos sociais. A validação na cadeia de suprimentos imediata foi motivada pela percepção de que, o objetivo da formação dos arranjos empresariais, bem como as cadeias de suprimentos possuem similaridades com os propósitos dos sistemas complexos, pressuposição que foi discutida e confirmada no Capítulo 4.

Com a validação da modelagem proposta, percebeu-se que, para que uma empresa e sua cadeia de suprimentos, apoiem e envolvam-se com um projeto como o proposto, é necessário que percebam benefícios. Esta é a principal condição para que o projeto integrado prossiga com sucesso. Por isso, na reunião preliminar, na qual se propôs a implementação da modelagem em parte da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal, demonstrou-se a preocupação em gerar benefícios para todas as empresas envolvidas no projeto, bem como considerar as peculiaridades das empresas envolvidas na modelagem proposta e destacar o valor que a integração poderia agregar ao hotel. A partir da aceitação do projeto proposto pela empresa focal, selecionou-se duas outras empresas, uma a jusante e outra a montante para continuar a modelagem, deixando claro para as empresas envolvidas, os benefícios as quais poderiam obter, participando conjuntamente do projeto.

A implementação revelou níveis diferentes de evolução da complexidade para as três empresas envolvidas na modelagem, mostrando que a empresa focal possui o menor nível de evolução em complexidade e pode obter por meio de sinergias entre as duas empresas com as quais se relacionam no processo de integração, um nível de evolução entre 7 e 9. Apesar das empresas fornecedora e cliente terem sido selecionadas sem um critério específico, apenas em função do bom relacionamento relatado pela empresa focal e pelo desejo em participarem do projeto. Com a empresa fornecedora, mesmo não existindo integração formal dos processos, não existe licitação para compras, por ter relações estáveis e de confiabilidade. No entanto, com outras empresas fornecedoras, em sua maioria, existe o processo de licitação, ocorrendo relacionamentos instáveis, refletindo insegurança em compartilhar informações. Com a empresa cliente, existe compartilhamento de informações *on-line*. Nessas duas empresas, os

relacionamentos são de satisfação e estão firmados a mais de dois anos, fato que não se estende a todos os relacionamentos da empresa focal com a cadeia de suprimentos.

Além disso, a implementação da modelagem instigou a empresa focal, a elaborar critérios para a seleção de parceiros para sua cadeia de suprimentos, que priorize empresas com níveis de complexidade entre 7 e 9, como também avaliar os relacionamentos já existentes. A validação da fase 4, destacou que as empresas analisadas apresentam localizações espaço-temporal diferentes e podem beneficiarem-se mutuamente do panorama conquistado no mercado. A arquitetura proposta para suportar a dinâmica é subdividida em duas estruturas: vertical e horizontal, com base no conceito de hierarquia e estruturas quase decomponíveis de Simon (1969). Por fim, a dinâmica proposta revelou muitas interações com energia competitiva e os efeitos negativos que esta energia pode disseminar na cadeia de relacionamentos. Evidenciou-se que, as interações com energia competitiva, se concentram dentro e entre a empresa focal, a qual pode ser beneficiada pelas interações mais cooperativas de suas parceiras na modelagem. A dinâmica se concentrou nas interações, separando os processos mais autônomos dos mais dependentes e relacionando-os respectivamente a estabilidade e a instabilidade do processo, além de identificar as influências entre um processo e outro.

As impressões dos Gerentes das três empresas foram positivas e demonstraram credibilidade aos resultados apontados, dos quais, alguns não foram publicados por solicitação dos mesmos, reconhecerem como pontos estratégicos para as empresas.

Em resumo, o Quadro 47 mostra as fases e as etapas da modelagem proposta que foram aplicadas e apresentadas parcialmente e integralmente, como também os resultados alcançados.

Balanco da Validação da Modelagem Proposta na cadeia de suprimentos da empresa focal				
Fases	Etapas	Apresentação dos resultados da Validação		Resultados no sistema modelado: Cadeia de Suprimentos imediata de um hotel.
		Parcial	Integral	
Fase 1: Preparação	<p>Etapa 1: Definição do sistema e identificação dos principais agentes que o compõem</p> <p>Etapa 2: Nivelamento conceitual</p> <p>Etapa 3: Caracterização do sistema</p> <p>Etapa 4: Mapeamento da cadeia de suprimentos da empresa focal</p> <p>Etapa 5: Seleção dos relacionamentos da cadeia de suprimentos imediata da empresa focal para modelagem</p> <p>Etapa 6: Caracterização das empresas selecionadas para modelagem</p> <p>Etapa 7: Relacionamentos entre as três empresas descritas</p>		<p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p>	<p>Etapa 2: seminário sobre a estrutura conceitual empregada: sistema, sistema complexo, modelagem, complexidade, cadeia produtiva, cadeia de suprimentos, entre outros. Breves treinamentos para esclarecimentos de conceitos e pontos da modelagem, sempre que houve necessidade.</p> <p>Etapas 1,3,4,5, 6 e 7: no caso dessa validação, aparecem quatro etapas a mais que na fase 1 da modelagem proposta para o sistema ficar apto à fase 2. Como o sistema modelado é uma cadeia de suprimentos, foi preciso mapeá-la integralmente; depois selecionar os membros que participarão da modelagem; caracterizar cada empresa membro e descrever os relacionamentos entre eles. Ao final apresentam-se algumas características que possibilitam designar uma cadeia de suprimentos como um sistema complexo.</p>
Fase 2: Determinar o nível de evolução em complexidade da cadeia	Etapa 1: Identificação do nível de evolução em complexidade da empresa focal e das empresas membros da cadeia de suprimentos		x	A partir da definição dos níveis de evolução em complexidade proposta na modelagem genérica (Capítulo 5, seção 5.1.2). Nesta validação, identificou-se o nível de evolução em complexidade das empresas: fornecedora, focal e cliente. Os resultados indicaram respectivamente os níveis: 8, 5 e 7.
Fase 3: Tornar os níveis de evolução em complexidade compatíveis, quando necessário	<p>Etapa 1: Descrição das principais compatibilidades e incompatibilidades das empresas analisadas</p> <p>Etapa 2: Reunião com agentes da empresa focal</p> <p>Focal 3: Desenvolver medidas para elevar os níveis de complexidade mais baixos</p>	x	<p>x</p> <p>x</p>	Como as empresas pesquisadas estão em níveis diferentes de evolução em complexidade, procedeu-se a uma descrição das compatibilidades e incompatibilidades entre elas. O objetivo foi analisar a necessidade de intervenção para continuar o projeto de modelagem, bem como tornar claro as empresas envolvidas sobre a necessidade de mudança. A etapa 3 da modelagem genérica, está dentro da etapa 2 da validação realizada. Finalmente, esta fase é concluída, com a determinação de medidas, pela empresa focal, para selecionar futuros parceiros e avaliar os atuais, quanto ao nível de evolução da complexidade.

Quadro 47: Balanco da Validação da Modelagem Proposta na cadeia de suprimentos da empresa focal (Continua...)

<p>Fase 4: localização espaço-temporal da cadeia</p>	<p>Não subdividiu em etapas na validação; apresentou-se os resultados dentro dos itens</p>		<p>x</p>	<p>Apontou-se a posição no mercado e o estágio do ciclo de vida em que estão as empresa. A empresa fornecedora cria mercado novo e está no período da maturidade; a empresa focal é líder de mercado e está no período de crescimento; a empresa cliente sobrevive em meio a competição acirrada e está no período de crescimento. Conclui-se que as posições diferenciadas das empresas criam sinergias positivas ao funcionamento da cadeia de suprimentos.</p>
<p>Fase 5: Construção da arquitetura da modelagem</p>	<p>Etapa 1: Determinação da estrutura funcional da cadeia de suprimentos</p> <p>Etapa 2: Estruturas horizontal e vertical</p>	<p>x</p> <p>x</p>		<p>Parte-se da determinação da estrutura funcional da cadeia de suprimentos imediata, sistema complexo modelado nesse trabalho. Baseado nas informações apuradas nas quatro fases anteriores, estabeleceu-se uma arquitetura formada por duas estruturas, uma vertical, composta por níveis de integração (elementar, intermediário e superior) e outra horizontal (comportamento das interações entre os subsistemas dos níveis), do cruzamento delas, obtém-se a estrutura funcional das empresas.</p>
<p>Fase 6: Definição da dinâmica da modelagem</p>	<p>Etapa 1: Percepção do observador</p> <p>Etapa 2: Elementos da cadeia de suprimentos</p> <p>Etapa 3: Articulação dos elementos da cadeia de suprimentos</p> <p>Etapa 4: Dar funcionalidade a modelagem</p> <p>Etapa 5: Identificação da auto-organização da cadeia de suprimentos</p> <p>Etapa 6: Monitoramento do funcionamento do sistema.</p>	<p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p> <p>x</p>		<p>A dinâmica do sistema está em função da percepção do observador. Este é o primeiro passo para movimentar a arquitetura proposta para a modelagem. Nesta modelagem, existem três observadores diretos (dirigentes das empresas) e um observador externo (a pesquisadora). A visão deles está em função da arquitetura da modelagem, do comportamento das interações e da percepção das características de auto-organização da cadeia de suprimentos. Os esquemas mentais dos observadores devem ser compartilhados, criando sinergia para um projeto integrado. As interações base da modelagem proposta, são analisadas mais detalhadamente com a ajuda do método MICMAC. Mapeiam-se os processos de cada empresa e mostram-se as interações existentes; primeiro dentro dos subsistemas dos quais fazem parte, depois entre os subsistemas da mesma empresa e na seqüência, as interações entre as empresas que compõem a cadeia. Nesse levantamento, descrevem-se os tipos de interações, a energia e o grau de importância para o subsistema que faz parte, para outros subsistemas, para a sua empresa e para outras empresas da cadeia. Por fim, analisa-se a importância da interação na integração da cadeia. No processo de análise das interações, os observadores percebem a capacidade de auto-organização das empresas na cadeia, descrevendo algumas características. O monitoramento é uma etapa final que visa captar as necessidades de mudança.</p>

Quadro 47: Balanço da Validação da Modelagem Proposta na cadeia de suprimentos da empresa focal (.....Conclusão)

CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este Capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado e as recomendações para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

Esse trabalho foi construído, seguindo a lógica do paradigma sistêmico e a estrutura de referência das Ciências da Complexidade. Seu desenvolvimento, partiu da discussão do termo complexidade, evoluindo para a discussão dos tipos de sistemas e das formas de evolução dos sistemas complexos. O objetivo foi desenvolver uma modelagem, que represente os sistemas complexos sociais, fato que evidenciou a necessidade de pesquisar os paradigmas da ciência, que norteiam as modelagens, bem como os preceitos básicos para a definição de uma modelagem adequada a tais sistemas. Observando-se que, os sistemas complexos usualmente são tratados por modelagens desenvolvidas para sistemas complicados, que usam a lógica cartesiana da simplificação, também percebeu-se que, o funcionamento das empresas demonstra sinais evidentes de aumento de complexidade, tais como diversas conexões, novas tecnologias e muitas relações interempresariais. Nota-se que, esse contraponto indica que a lógica cartesiana, apesar de importante para o desenvolvimento da ciência, apresenta limitações num ambiente mais complexo e com muitas conexões.

Alinhando o objetivo de desenvolver uma modelagem, para representar sistemas complexos sociais, ao aumento de complexidade nas relações empresarias, associou-se a lógica de funcionamento dos sistemas complexos à lógica de formação e funcionamento das cadeias de suprimentos, conectando assim, a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade e do paradigma sistêmico, aos objetivos da Engenharia de Produção, os quais se orientam pela busca de alternativas eficazes, para intervir e melhorar o desempenho dos sistemas produtivos.

Dessa forma, o primeiro pressuposto desse trabalho, era que a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade pudesse ser uma alternativa viável para tratar os problemas, cada vez mais complexos, enfrentados pelas empresas. Com o trabalho, constatou-se, por meio do levantamento das interações, dentro e entre as empresas da cadeia de suprimentos modelada, que o aumento da complexidade se deve, em grande parte, ao aumento das interações não-

lineares, nas quais, causa e efeito não são evidentes, como por exemplo: uma atividade no departamento comercial de uma empresa que afeta o processo de produção e, por consequência, o desempenho do produto final, além das imprevisibilidades inerentes ao ambiente empresarial, cada vez mais dinâmico e mutável. O aumento da complexidade nas relações entre as empresas é demonstrado pelos diversos formatos (cadeias de suprimentos, cadeias produtivas, cadeias de valor, dentre outros) assumidos por estas empresas, com o objetivo de criarem uma estrutura mais flexível, dinâmica e forte, que resistam eficientemente, à competitividade do mercado. Nesse ambiente, a lógica do paradigma cartesiano funciona com limitações, porque desconsidera as interações entre as partes e usa a simplificação como fundamento; sendo mais apropriado empregar abordagens que, considerem as entidades como sistemas, com partes distintas e conectadas, comportamento imprevisível, mudanças do ambiente, e do sistema e funcionem integrados a outros sistemas. O paradigma sistêmico, adotado nessa tese, demonstrou ser adequado ao ambiente com relações interempresariais e gerou impressões positivas aos dirigentes das empresas pesquisadas, em decorrência da abordagem sistêmica ser direcionada à compreensão da dinâmica das interações, e ter emergido resultados importantes do mapeamento das referidas interações, para o funcionamento das empresas pesquisadas.

O segundo pressuposto desse trabalho era que, os sistemas complexos são tratados por meio de ferramentas apropriadas a sistemas complicados. Se forem desenvolvidas modelagens adequadas às características dos sistemas complexos, é possível representar mais fielmente a realidade estudada. Com a aplicação da modelagem, pôde-se perceber que, a preocupação das abordagens que empregam a lógica das Ciências da Complexidade com as interações entre os subsistemas (departamentos) da empresa e, destes com sua rede de relacionamentos, não é uma prática usual nas empresas, despertando interesse no nível estratégico destas, por evidenciar problemas nos relacionamentos internos que antes eram desconhecidos, mas, que eram justamente eles que causavam deficiências no atendimento do cliente final. O mapeamento das interações, dentro e entre as empresa da cadeia de suprimentos analisada, bem como a identificação dos relacionamentos mais competitivos e mais cooperativos, também, são indicadores que mais aproximam a empresa da sua real situação.

O terceiro pressuposto desse trabalho afirmava que, a passagem da análise, base do paradigma reducionista para a concepção, compreensão e interpretação, base do paradigma sistêmico, amplia o conhecimento e a eficiência da intervenção do sujeito no objeto investigado. No processo de construção dos Capítulos 2 e 3 evidenciou-se, ao fundamentar

teoricamente o desenvolvimento da modelagem, que a visão do observador, sua intencionalidade e os interesses que possui, são os fatores que determinam a escolha da modelagem empregada. O sujeito (observador do sistema) interfere constantemente na entidade, com a qual interage, mudando seu próprio comportamento e o da entidade. Desconsiderar a interferência do observador no sistema modelado é torná-lo irreal. A partir do reconhecimento de que, sujeito e objeto estão interligados constantemente, e que por isso, interfere no funcionamento um do outro, cria-se uma relação de sinergia, na qual o observador age sabendo que suas ações, interações e reações geram efeitos positivos ou negativos na entidade modelada. Na prática, essa compreensão gerou preocupação nos dirigentes da empresa focal, com o comprometimento dos funcionários aos objetivos da empresa, e desta, com sua rede de relacionamentos, com a sociedade e com o meio ambiente.

O quarto pressuposto era que, a cadeia de suprimentos é uma configuração organizacional que segue a lógica da complexidade, pois é formada de muitos componentes diferentes, considerando as interações dos componentes, possui comportamento difícil de gerenciar e é difícil de prevê o comportamento dos componentes da cadeia quando funcionam integrados. Logo, a cadeia de suprimentos pode ser modelada como um sistema complexo. Inicialmente, percebeu-se com a elaboração do Capítulo 4, que as cadeias de suprimentos podem ser consideradas sistemas complexos, porque possuem as características de tais sistemas. São sistemas abertos, precisam da interação com outras empresas e com o mercado para sobreviverem, ao mesmo tempo em que buscam a estabilidade de sua organização interna para não serem vencidas pela concorrência. O todo (cadeia de suprimentos) não é igual à soma das partes (empresas isoladas), podendo ser mais ou menos, dependendo do desempenho de cada empresa e do nível de integração entre elas. Se possuírem objetivos diferentes e não compartilharem informações, o todo será menor que a soma das partes. Se possuírem objetivos comuns e compartilharem informações, usando a lógica da cooperação, o todo será maior que a soma das partes. Apresentam níveis de relacionamentos que se estendem de jusante a montante da empresa líder da cadeia, iniciando-se no processo de extração das matérias-primas, até o descarte do produto final, adquirido pelo cliente. Logo, da empresa líder, a montante e a jusante pode haver inúmeros níveis, os quais podem ser alterados constantemente em função das mudanças do mercado, das mudanças nos relacionamentos das outras empresas e em função das necessidades dos clientes. Apesar de se formarem com a intenção de serem mais ágeis, flexíveis, fortes e possuírem objetivos comuns, nem sempre perfazem relações de confiança.

Na aplicação observou-se que a modelagem proposta considerou aspectos importantes da formação das cadeias de suprimentos, que não eram abordadas pela literatura pesquisada. O primeiro deles, foi o nível de evolução em complexidade, em que está cada empresa componente da cadeia. Essa informação mostra, por meio do cruzamento de sete características genéricas, com nove níveis de complexidade (ver Capítulo 5, seção 5.1.2), a compatibilidade entre as empresas que formam a cadeia de suprimentos. Identificar as compatibilidades entre as empresas integradas na cadeia de suprimentos, é importante para evidenciar a visão de cada empresa e os interesses comuns entre elas, pois, apesar de se trabalhar com sistemas da mesma ordem de sistemas complexos, os sociais, representados pelas empresas, a compatibilidade de interesses, objetivos e visões, facilita o processo de integração das referidas empresas na formação de arranjos empresariais. Esta fase da modelagem, funcionou como instrumento de identificação das sinergias entre as empresas, evitando a seleção de parceiros comerciais que tenham propósitos e funcionamento muito diferentes dos propósitos da empresa focal (líder da cadeia analisada), podendo gerar atrasos na entrega dos produtos, problemas com a qualidade dos produtos etc.. Assim a empresa focal pode criar critérios de seleção, que estabeleçam indicadores de compatibilidade entre as empresas membros da cadeia. Ainda com base na aplicação da modelagem, foi possível estabelecer a situação individual de cada empresa no mercado, determinando as posições que ocupam e o estágio do ciclo de vida que se situam. A partir dessas informações, descreve-se o panorama de cada empresa e, depois se analisa as contribuições que podem ser inferidas do comportamento individual, que favoreça a cadeia como todo e, como as características da cadeia podem melhorar o desempenho das empresas individualmente.

Reconhecendo as empresas e a cadeia desta forma detalhada, foi possível desenvolver uma arquitetura mais flexível, dinâmica e integrada para o funcionamento das empresas na cadeia de suprimentos (ver Capítulo 5, seção 5.1.5). Estas características são evidenciadas pelos níveis de integração que compõem a estrutura vertical e pelo comportamento das interações, que perfazem a estrutura horizontal da arquitetura proposta. A referida arquitetura foi construída, seguindo a lógica estabelecida por Simon (1969), das estruturas quase decomponíveis, base dos sistemas complexos. As estruturas quase decomponíveis são um misto de associação (resistência à decomposição) e flexibilidade (facilidade de decomposição). Nessa dialógica a cadeia de suprimentos foi modelada como um sistema complexo, evidenciando por meio da dinâmica das interações, aquelas interações que são mais competitivas e as mais cooperativas com os respectivos efeitos para as empresas individuais, e para o desempenho da cadeia como todo. Para interpretar a dinâmica das

interações na cadeia, iniciou-se pelo mapeamento das relações, dentro e entre os subsistemas de cada uma das empresas envolvidas na modelagem. A partir desse mapeamento, procedeu-se a identificação das interações constitutivas, usualmente formadas pelas interações dentro dos subsistemas, e as agregativas, comumente encontradas entre os subsistemas das empresas. Com a análise das interações em cada empresa, foi possível identificar a energia que move essas interações, se cooperativa e/ou competitiva, criando-se uma seqüência contendo os tipos de interações, a energia predominante nelas e a determinação de critérios, que indicam o grau de importância da interação no desempenho do produto final. Com esse procedimento, constatou-se que na empresa focal, a maioria das interações apresenta energia competitiva, gerando problemas no desempenho do produto final e que as empresas fornecedora e cliente possuem relações mais cooperativas e autônomas, confirmando a suposição de que, empresas com maior nível de evolução em complexidade, apresentam conexões mais colaborativas. Com o uso da matriz de análise estrutural, foi possível identificar as influências diretas e indiretas de um processo em relação ao outro, sejam eles internos ou externos, considerando os três níveis analisados (elementar, intermediário e superior) das três empresas modeladas. O uso da MICMAC estabeleceu as interações com maior grau de autonomia, os relacionamentos mais estáveis, as interações com maior grau de dependência e os relacionamentos mais instáveis. Esses resultados impressionaram positivamente os dirigentes das empresas pesquisadas, em relação à atuação das Ciências da Complexidade na gestão das empresas, em tempos cada vez mais propensos a gestão conjunta, exigindo das empresas capacidade de integração e de colaboração.

O quinto pressuposto era que, dado o aumento da complexidade, inerente aos novos formatos organizacionais assumidos pelas empresas, é necessário o uso de ferramentas que considere essa complexidade, ao invés de excluí-la. Na elaboração dos Capítulos 2, 3 e 4, foi discutido a limitação da lógica de intervenção cartesiana, nos atuais problemas enfrentados pelos sistemas, dentre os quais, as empresas. As empresas são sistemas complexos formados por pessoas que se relacionam entre si dentro da própria empresa e com outras empresas fora das fronteiras organizacionais. As interações são portanto, a base das transformações enfrentadas pelas empresas. Das interações internas e interempresariais, vêm os principais problemas enfrentados pelos sistemas, motivo pelo qual, a lógica cartesiana apresenta deficiências num ambiente norteado por interações. O Capítulo 3 apresenta algumas “ferramentas” que podem ser empregadas, quando se considera as interações, dentro e fora de um sistema, bem como a necessária utilização do paradigma sistêmico. O Capítulo 4 demonstra as similaridades entre os arranjos empresariais e as Ciências da Complexidade,

constatando o pressuposto que, a lógica de funcionamento das cadeias de suprimentos é similar à lógica de funcionamento dos sistemas complexos. Por isso, as Ciências da Complexidade podem contribuir para o aprimoramento dos arranjos empresariais.

O problema de pesquisa referia-se à identificação dos elementos, que são necessários para desenvolver uma modelagem apropriada à intervenção em sistemas complexos sociais, considerando as diferentes partes do sistema, suas interações, suas conexões e sua evolução. A partir da pesquisa bibliográfica realizada nos Capítulos 2, 3 e 4, elaborou-se uma modelagem de referência para representar sistemas complexos sociais, com a qual, pode-se responder a pergunta de pesquisa: **quais elementos são necessários para elaborar a modelagem proposta.**

Na seqüência, descreve-se a base para a construção da referida modelagem.

- A partir da definição do sistema a ser modelado, foi necessário identificar o nível de evolução em complexidade, no qual ele está situado.
- Para determinar o nível de evolução do sistema, criou-se nove níveis de complexidade genéricos, os quais são cruzados com sete características básicas, servindo de parâmetros para indicar o nível de evolução desse sistema.
- A partir da determinação do nível de evolução do sistema, se mais de um sistema forem modelados juntos, caso dessa validação, é necessário verificar o nível de evolução de cada um.
- Depois disso, se houver viabilidade e concordância em continuar a modelagem, deve-se verificar as compatibilidades e incompatibilidades (ver Capítulo 5, seção 5.1.3) entre os sistemas, com o objetivo de torná-los compatíveis, dando continuidade ao projeto.
- Para conhecer o ambiente, localiza-se cada sistema numa escala espaço-temporal (ver Capítulo 5, seção 5.1.4), determinando o panorama de cada sistema, de acordo com sua localização.
- De posse dessas informações, elabora-se uma arquitetura de funcionamento (ver Capítulo 5, seção 5.1.5) adequada às características dos sistemas complexos modelados.

- Por último, analisa-se a dinâmica das interações da modelagem proposta, a qual é responsável pela transformação do sistema, por meio do processo de emergência e auto-organização. Nesta fase, o sistema reconhece suas principais interações e acompanha as mudanças no ambiente, para se ajustarem constantemente a estas interações, através de um sistema de monitoramento de mudanças.

Com essa modelagem referencial proposta, acredita-se ter respondido a pergunta que orientou a pesquisa.

Os trabalhos apresentados pelos diversos autores, investigados sobre sistemas complexos, estabelecem que, muitas abordagens foram desenvolvidas para tratar tais sistemas, cada uma em áreas diferentes e para objetivos específicos de um determinado campo científico. Existem muitas propostas de estruturas de referências, que podem ser empregadas para interpretar os sistemas complexos. Muitos autores mencionam a necessidade da elaboração de modelos genéricos para representar sistemas complexos, mas, poucos apresentam alguma proposta sistematizada de modelagem para representar tais sistemas.

Além disso, pouco foi dito sobre modelagens de sistemas, considerando o paradigma sistêmico e a abordagem das Ciências da Complexidade. A maioria dos trabalhos, apresenta modelos com base no paradigma reducionista, que são mais simplificados e diretos, dando pouca importância as interações entre as partes dos sistemas. As pesquisas nas Ciências da Complexidade estão em processo de desenvolvimento no Brasil, despontando como uma área propensa a inovações e contribuições.

A validação da modelagem proposta foi feita em parte de uma cadeia de suprimentos imediata de um hotel, envolvendo três empresas: focal, fornecedora e cliente. Elas foram selecionadas, a partir do mapeamento do primeiro nível dos relacionamentos estabelecidos pela empresa focal. A validação foi divulgada parcialmente nesta tese. As duas últimas fases propostas na modelagem genérica foram suprimidas, em algumas etapas, para preservar informações estratégicas das empresas envolvidas.

Com o desenvolvimento e aplicação do trabalho, foi alcançado o objetivo geral da pesquisa: desenvolver uma modelagem de referência que represente sistemas complexos sociais, levando em conta, a complexidade como uma característica global do sistema, a diversidade de componentes e suas interações lineares e não-lineares e que considere, o processo de evolução do sistema modelado. Os objetivos específicos foram atingidos conforme o trabalho foi sendo construído. O Quadro 48 especifica os objetivos específicos e os Capítulos nos quais eles foram atingidos.

Indicação de onde os objetivos específicos do trabalho foram atingidos	
Objetivos Específicos	Foram atingidos.....
1. Apresentar e discutir o termo “complexidade” e suas aplicações	No Capítulo 2, seção 2.1 Apresenta-se e discute as visões de vinte principais autores sobre o termo “complexidade”.
2. Incorporar o conceito de sistema às discussões da complexidade, estendendo às abordagens referentes a sistemas complicados e complexos	No Capítulo 2, seção 2.2. Apresenta-se e discute-se o termo “sistema”, diferenciando os complicados dos complexos e apresentando as abordagens de onze principais autores sobre os sistemas complexos.
3. Apresentar e discutir as teorias desenvolvidas para tratar as características dos sistemas complexos	No Capítulo 2, seção 2.3.1. Apresenta-se e discutem-se cinco principais autores que pesquisaram e a aplicabilidade das Ciências da Complexidade, em seguida na seção 2.3.2, apresentou-se e discutiu-se cinco principais teorias desenvolvidas para tratar sistemas complexos.
4. Apresentar e discutir as abordagens referentes à evolução dos sistemas complexos	No Capítulo 2, seção 2.4. Apresentou-se e discutiu-se quatro abordagens básicas (Quantitativa, Qualitativa, Estrutural e Funcional) , a partir das quais investigou-se dezenove autores que tratam de como os sistemas complexos evoluem.
5. Apresentar e discutir tipos de modelagens apropriados aos sistemas complexos e “ferramentas” adequadas a sua representação	No Capítulo 3. Discute-se o termo modelagem; os paradigmas da ciência (reducionista e sistêmico), que norteiam o pensamento científico e, portanto, influencia os tipos de modelagens. O conceito de sistema como base para as modelagens que usam as Ciências da Complexidade como referência; as dinâmicas que levam a auto-organização do sistema. Por fim, apresentaram-se sete ferramentas que podem ser usadas para representar sistemas complexos.
6. Apresentar e discutir a concepção dos arranjos empresariais, como uma nova forma de funcionamento das empresas, evidenciando as contribuições das Ciências da Complexidade nesse contexto	No Capítulo 4. Apresentou-se uma revisão de literatura sobre algumas formas de arranjos empresariais e a tendência crescente de associações entre empresas, destacando as similaridades e as contribuições que o referencial teórico das Ciências da Complexidade pode trazer a formação e gestão dos arranjos empresarial, como as cadeias de suprimentos.
7. Propor uma modelagem apropriada às características dos sistemas complexos	No Capítulo 5. A partir dos Capítulos 2 e 3, desenvolveu-se a proposta de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos sociais.
8. Validar a modelagem, aplicando-a em parte de uma cadeia de suprimentos	No Capítulo 6. A modelagem proposta no Capítulo 5 foi validada em uma cadeia de suprimentos imediata, em consonância com as evidências do Capítulo 4, de que uma cadeia de suprimentos apresenta as características dos sistemas complexos, podendo ser designado como tal.

Quadro 48: Indicação de onde os objetivos específicos do trabalho foram atingidos

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesse trabalho, discutiu-se o processo de construção de uma modelagem apropriada às características dos sistemas complexos, empregando o paradigma sistêmico e a estrutura conceitual das Ciências da Complexidade. Focalizam-se os objetivos da Engenharia de Produção, associando-se os fundamentos dos sistemas complexos aos da formação das cadeias de suprimentos. Logo após, valida-se parte da modelagem, numa cadeia de suprimentos imediata. Restam ainda, importantes aspectos a serem abordados em trabalhos futuros, tais como:

- Verificar a influência da cultura organizacional da empresa, na aceitação da modelagem fundamentada no paradigma sistêmico e na estrutura conceitual das Ciências da Complexidade.
- Empregar outras ferramentas não aplicadas nesse trabalho, como as sugeridas no Capítulo 3, seção 3.4, ou outras diferentes destas, verificando a aplicabilidade da modelagem proposta.
- Testar a modelagem proposta em outros campos da ciência, que não a Engenharia de Produção, como também aplicá-la em outros setores da economia, visando observar sua robustez.
- Aplicar a modelagem numa cadeia de suprimentos, com maior número de participantes, observando o comportamento da empresa focal em relação as ligações de poder entre si.
- Comparar os resultados de uma modelagem com base no paradigma sistêmico, com os de uma com base no paradigma reducionista.

A aplicação realizada nessa tese foi empregada em empresas que apresentavam níveis diferentes de evolução em complexidade, apresentando assimetrias nas suas estruturas. Sugere-se, se possível, a partir dos critérios estabelecidos nesta aplicação, fase 3 da modelagem, selecionar empresas parceiras com o mesmo nível de complexidade da empresa focal e proceder à aplicação, excluindo a fase 3 da modelagem.

A modelagem proposta foi desenvolvida, tendo como base as abordagens de Simon (1969), Le Moigne (1977) e Heylighen (1988). Foi considerado como base para a formação da estrutura da modelagem, a abordagem da evolução estrutural dos sistemas (ver Capítulo 2, seção 2.3.4) e como base da dinâmica da modelagem, foi empregado o processo de auto-organização por meio do conceito de hierarquia, discutido no Capítulo 3, seção 3.3.1.2.3. Sugere-se elaborar outras modelagens, seguindo outras linhas de argumentações e usando abordagens quantitativas, qualitativas ou funcionais para construção da arquitetura, como as apresentadas no Capítulo 2, seção 2.4., construindo a dinâmica do sistema, a partir de outros tipos de auto-organização, com base no conceito de atrator, de fractal e da autopoiese (Capítulo 3, seção 3.3.1.2).

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, H. Ralph. The Genesis of Complexity. In: Series: **Advances in Systems Theory, complexity, and the human Sciences**. Edited by Alfonso Montuori, 2002.
- ACKOFF, R.L. **Redisigning the future**. A system approach to societal problems, New York, J.Willey & S., 1974.
- AGOSTINHO, Márcia E. **Complexidade e organizações**: em busca da gestão autônoma. São Paulo: Atlas, 2003.
- AGOSTINHO, Márcia E. CASTRO, Gilberto T. Redes Produtivas: Revendo a Metáfora da corrente. In: ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), 22, 2002,. Curitiba, PR. **Anais**, Curitiba, PUC-PR, 2002.
- ALEKSANDROWICZ, Ana Maria C. Complexidade e Metodologia: um refinado retorno às fronteiras do conhecimento. In: MINAYO, M.C. de Souza, DESLANDES, S.F.(Org.) **Caminhos do pensamento**: epistemologia e método. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002. p. 49-79.
- AMATO NETO, João. Globalsourcing e padrões de fornecimento no complexo automobilístico brasileiro. In: ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), 16º, 1996, Piracicaba. **Anais**, Piracicaba, 1996.
- ANDERSON, Philip. Complexity Theory and Organization Science. In: **Organization Science**. Vol.10, Número 3, p.216-232, may-june 1999.
- ASHBY, W. General systems as a new discipline. In: **General systems Yearbook**, [S.I.: s.n.].nº. 3, p.3-6, 1958.
- ASHKENAS, E. **The boundaryless organization**: breaking the chains of organizational structure. San Francisco: Jossey-Bass, 1995.
- ATLAN, H. **Entre o cristal e a fumaça**: ensaio sobre a organização do ser vivo. Rio de Janeiro: Zahar, 1992.
- AVARECHIA, Carlos H. M. PIRES, Silvio R. I. Gestão da cadeia de suprimentos e avaliação de desempenho. In: ENANPAD (Encontro Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração), 23, 2000, Florianópolis. **Anais**: Florianópolis: UFSC, 2000.
- AXELROD, R. and COHEN, Michael. **Harnessing Complexity**: organizational implications of a scientific frontier. FP.New York, 1999.
- AXELROD, Robert. **The complexity of cooperation**: Agent-Based models of competition and collaboration. Princeton studies in complexity, New Jersey, 1997.
- BARABÁSI, Albert-László; BONABEAU, Eric. Scale- free networks. [S.I.: s.n.] **Scientific American**. May, 2003.p.50-59.

BARANGER, Michel. **Chaos, complexity and entropy**: a physics talk for non- physicists. Massachusetts Institute of technology and New England complex systems institute, Cambridge, London, [199-?].

BARRATT, M.; OLIVEIRA, A. Exploring the experiences of collaborative planning initiatives. [S.I.: s.n.] **International Journal of Physical Distribution & logistics**, v..31, n.4, p. 266-289, 2001.

BAR-YAM, Yanner. **Dynamics of Complex Systems**. Perseus Books. Massachusetts, 1997.

BATALHA, Mario Otávio et al. **Gestão agroindustrial**: GEPAI: Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. v.1, São Paulo: Atlas, 1997.

BATALHA, Mario Otávio; SILVA, A. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições e correntes metodológicas. In: **Gestão agroindustrial**. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2001, v.1.

BEER, S. **Brain of the firm**. Chichester: Wiley, 1972.

BEHAVIOR CHANGE FOR SUPPLY CHAIN. Disponível em: Informationweek.com, 2001. Acesso em: 30 de agosto de 2004.

BERNARD, C. **Introduction à l'étude de la médecine expérimentale**. Paris, librairie Joseph Gibert, 1943.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis. 1ª edição: Vozes. 1968. Tradução de: Francisco M. Guimarães.

BOCACINA, Maria Paola. A Taxinomy of Theorem-proving Strategies. [S.I.: s.n.] In: **Artificial Intelligence Today**, 1999, p.43-84.

BOULDING, K.E. General Systems theory, the skeleton of science. [S.I.: s.n.] In: **Management science**, 1956.

BOUDING, K.E. Science: Our common heritage.Science. [S.I.: s.n.] In: **Management science**, n°. 207, p.831-836., 1980.

BOULDING, K.E. **The world as a total system**. London, Sage publications, 1985.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J. **Logística empresarial**: o processo de integração de cadeia de suprimentos, São Paulo: Atlas, 2001. Tradução: Equipe do centro de estudos em logística e Adalberto F. das Neves. Tradução de: Logistical management: the integrated supply chain process.

BYRNE, David. **Complexity Theory and Social Sciences**: an introduction. [S.I.: s.n.] Routledge, 1998.

BURGIN, Mark. SIMON, Irving. Information, Energy, and Evolution. In: **Working paper**. University of California, Los Angeles, 1997.

BURKE, Martin. **Thought systems and network centric Warfare**. DSTO: Eletronics and Surveillance Research Laboratory, Australia, [s.n.],2000.

BRUTER, C.P. **Topologie et perception**: t. I: bases philosophiques et mathématiques, Paris, Maloine & Doin, 1974.

BRUTER, C.P. **Topologie et perception**: t. II: Aspects neurophysiologiques. Paris, Maloine & Doin, 1976.

BRUTER, C.P. **Sur la nature de mathématiques**. Paris, Gauthier-Villars, 1973.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Tradução: Newton Roberval Eicheberg. Sao Paulo: Cultrix, 1996.

CAMPBELL, D.T. Evolutionary Epistemology. In: **The Philosophy of Karl Popper**. P.A. (ed). Open Court Publish, La Salle, p. 412-463, 1974.

CASTI, Jonh. **Complexification**: Explaining a paradoxical World through the science of surprise. HarperCollins, New York, 1994.

CILLIERS, Paul. What can we learn from a Theory of complexity? [S.I.: s.n.] In: **Emergence**, n° 2, vol.1, p. 23-33, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2000.

CHECKLAND, P. **Systems Thinking, System Practice**. New York, J. Wiley & Sons, 1981.

CHRAIM, Macul. **Aliança empresarial no setor de transporte**: estratégia para dinamizar o transporte de encomendas em ônibus. 2000. tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento**. Tradução: Francisco M. Leite. São Paulo: Pioneira, 1997. Tradução de: logistics and supply chain management.

CHRISTOPHER, Martin; TOWIL, D.R. Supply chain migration from lean and functional to agile and customized. Supply chain management: [S.I.: s.n.] In: **An International Journal**, v..5, n°.4, 2000.

CHRISTOPHER, Martin. The agile supply chain: competing in volatile markets. [S.I.: s.n.] In: **Industrial Marketing Management**, v.29, 2000.

CHOI, Thomas Y. DOOLEY, Kevin J., RUNGTUSANATHAM, Manus. Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. In: **Journal of Operations Management**. P.351-366, 2001.

COELHO, Christianne C.R. **Sustentabilidade e Complexidade nas Organizações**. 2001. tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

COLELLA, Vanessa Stevens, KLOPFER, Eric, RESNICK, Mitchel. **Adventures in**

Modeling: exploring Complex, Dynamic Systems with Starlogo. Teachers College Press: Columbia University. New York, 2001.

COOPER, M.C.; LAMBERT, D.M.; PAGH, J.D. More than a new name for logistics. **International Journal of Logistics Management**, v.8, n° 1, p. 1, 1997.

COREN, Richard L. **The Evolutionary Trajectory:** the growth of information in the history and Future of Earth. Gordon & Breach Science Publishers, 1998.

CORREA, H. L. Supply Chain Management: implementando VMI de forma eficaz. In: **Anais do SIMPOI**. São Paulo: Fundação Getulio Vargas, 2002.

COVENEY, Peter. HIGHFIELD, Roger. **Frontiers of Complexity:** the search for order in a chaotic world. New York, Fawcett Columbine, 1995.

CSILLAG, João Mário. **Análise de Valor**. 4ª edição, São Paulo: Atlas, 1995.

DAFT, Richard L. **Organizações:** Teoria e Projeto. Traduzido de: Organizational Theory and Design. Thomson Pioneira: 1ª edição, Sao Paulo, 2002.

DAVENPORT, T.H. **Process innovation, reengineering work through inovation technology**. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1993.

DAVIDSON, Mark. **Uncommon Sense:** the life and thought of Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972) Father of general system theory. Los Angels: J.P. Tarcher, 1983.

DAWKINS, Richard. **El gen egoísta**, Salvat, Barcelona, 1986.

DEVANEY, R.L. **An introduction to chaotic dynamical systems**. Reading: MA, Addison-Wesley, 1992.

DEMOS, Nick, CHUNG, Steven e BECK, Michael. O modelo da era das constelações de valor. **HSM management**, n° 32, Ano 6, maio-junho 2002, pp.48-52.

DESCARTES, R. **Discurso sobre o método**. In: Descartes. São Paulo: ed. Abril, 1980 (Os pensadores)

DOMINGO, C.T, JIMENEZ, V.RAMIREZ, M, SANANES, O, TERAN e TONELLA, G. Simulation and Structural Change. **European Simulation Symposiun**, Genoa, Italy, 1996.

DOLAN, S.L., GARCIA, S., AUERBACH, A. Understanding and Managing Chaos in Organisations. In: **International Journal of Management**. vol.20, n° 1, 2003.

DOZ, Yves L.; HAMEL, Gary. **A vantagem das alianças**. Tradução: Bázan tecnologia e lingüística. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2000. Traduzido de: Alliance Advance.

EDMONDS, Bruce. Syntactic Measures of Complexity. 1999. tese (Doutorado Department of Philosophy) University of Manchester, Manchester, UK .

EIJNATTEN, Frans M. Chaordic Systems Thinking: Chãos and complexity to explain human performance management. In:**Business Excellence**, p. 1-16, 2003.

ENGELS, F. **La dialéctique de la nature**. Paris: Éditions Sociales, 1952.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1991.

FLEURY, Afonso, FLEURY, Maria Tereza Leme. **Estratégias Empresariais e formação de competências**: um quebra-cabeça caleidoscópico da indústria brasileira. 2ª edição. São Paulo, Atlas, 2001.

FINE, Charles H. VARDAN, Roger. PETHICK, Robert, EL-HOUT, Jamal. A fórmula da resposta rápida. **HSM management**, n.33, ano 6, jul-ago 2002, p.108-118. Traduzido de: Rapid-response capability in value-chain design. *Sloan Management Review*, p.69-75.

FINE, Charles. **Mercados em evolução contínua**. Tradução: Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Campos, 1999. Tradução de Clockspeed.

FISHER, C.H. What is the right supply chain for product? **Harvard Business Review**, n° 75, v.2, p.105-16, 1997.

FOLEY, K. Duncan. **An Introduction** In: ALBIN, Peter S. Barriers and bounds to rationality: Essays on Economic Complexity and Dynamics in interactive systems. [S.I.: s.n.], [199-?].

FORRESTER, Jay Wright. **Urban dynamics**. Cambridge, Mass., M.I.T. Press, 1969.

FOSTER, Jason, KAY, James, Roe, Peter. Teaching complexity and systems thinking to engineers. 4th UICEE **Annual Conference on Engineering education**. Bangkok, Thailand, February, 2001. p.1 -10.

FRANÇA, Cristiana de Melo; LEITE, Maria Silene Alexandre; LIMA, Aloisio da Silva. Aspectos Culturais que influenciam na implantação de um sistema de custos: O caso do setor hoteleiro de João Pessoa-Paraíba-Brasil. In: VI CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 1999, Braga - Portugal. **Anais do VI Congresso Internacional de Custos**. 1999.

GADAMER, H. **Verdade e Método**. Petrópolis: Vozes, 1999.

GARCÍA, Rolando. **O conhecimento em construção**: das formulações de Jean Piaget à teoria dos sistemas complexos. Tradução: Valério Campos. Porto Alegre: Artemed, 2002.

GASPARETTO, Valdirene. **Proposta de uma sistemática para avaliação de desempenho em cadeias de suprimento**. 2003. Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

GATTAZ, Fuad Sobrinho. **Criando processos**. 2000. [S.I.: s.n.], Disponível em: www.p3tech.com, Acesso em: 20 junho de 2003.

GATTAZ, Cristiane Chaves. **Brincando de Processos**: um método de capacitação na metodologia de processos. [S.I.], Ed. O mundo em processo, 2001. disponível em: www.p3tech.com. Acesso em 20 junho de 2003.

GELL-MANN, Murray. **O Quark e o Jaguar**: as aventuras no simples e no complexo. Tradução: Alexandre Tort. Rio de Janeiro, ROCCO, 1996.

GLEICK, James. **Caos**: a criação de uma nova ciência. Tradução: Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus, 1990. Traduzido de: Making a new science.

GEYER, R. RIHANI, S. Complexity Theory and the Challenges to Democracy in the 21 century. **Political Studies Association-UK 50 Annual conference**, april, 2000, London.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2ª edição. São Paulo: Atlas, 1993.

GINO, Francesca. Complexity measures in decomposable structures. In: EURAN – **European Academy of Management** – Conference on Inovative Research in Management. May, 2002. Stockholm, Sweden.

GODET, Michel. **Manual de prospectiva estratégica**: da antecipação à ação. Tradução: J. Freitas e Silva. Traduzido de: De l'antecipation à l'action: Manuel de prospective et de stratégie. Publicações Dom Quixote, Portugal, 1993.

GULATI, Ranjai. GARINO, Jason. Cimentando tijolos com cliques. **HSM management**, nº 23, ano 4, nov-dez 2000. p.90-100. Traduzido de: Harvard Business Review: Get the righth mix of bricks and clicks. May-juny.

GUTOWITZ, Howard. **Cellular Automata**: Theory and Experiment. MIT Press, Cambridge, 1991.

ITO, Akira. YANO, Hiroyuki. **The emergence of cooperation in a Society of autonomous agents**. 1999. [S.I.: s.n.], Disponível em: <http://www.inf.pucrs>. Acesso em 03/04/2004.

HABERMAS, J. **Dialética e Hermenêutica**. São Paulo: L&PM, 1987.

HAMMER, Michael. Sob o mesmo guarda-chuva. **HSM management**, nº 34, ano 6, set-out 2002, p.80-85. Traduzido de: Management and the future of six sigma. Sloan management review. p.26-32.

HAMMER, Michael. A new agenda for the Decade. **Suppy Chain management. Review**. nov-dec. P.36-40, 2001.

HEISENBERG, W. **La partie et le tout**. Paris, Albin Michel. 1969.

HEGEL, G. H. F. A fenomenologia do espírito. In: **Hegel**. São Paulo: Abril, 1980 (Os pensadores).

HEYDEBRAND, Wolf V. New organizational forms. In: **Work and occupations**, nº. 16, p.323-357. 1989.

HEYLIGHEN, Francis. Building a science of complexity. **Annual Conference of the cybernetics Society**. London, 1988. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 20 de set.2004.

HEYLIGHEN, Francis. The growth of structural and functional complexity during evolution, in: F. Heylighen, J. Bollen & A. Riegler (eds). **The Evolution of Complexity** (Kluwer Academic, Dordrecht), p. 17-44. 1996. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 15 de maio 2004.

HEYLIGHEN, Francis. Evolutionary Transitions: how do levels of complexity emerge?, in: **Complexity**, vol. 1, n° 6, issue 1, 2001. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 03 de março de 2004.

HEYLIGHEN, Francis. CAMPBELL, Donald T. Selection of Organization at the Social Level: Obstacles and facilitators of metasystem transitions. In: **World Futures: The Journal of General Evolution: Especial Issue on The Quantum of Evolution: toward a theory of metasystem transitions**. Heylighen, F., Joslyn, C., Turchin, V. (eds), 1995. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 03 de março de 2004.

HEYLIGHEN, Francis. Cognitive Levels of Evolution: From pre-rational to meta-rational in: **The Cybernetics of Complexity Systems: self-organization, Evolution and Social Change**, F. Geyer (ed), Intersystems, Salinas, Califórnia, p. 75-91, 1991. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 15 de maio 2004.

HEYLIGHEN, Francis. (Meta)systems as constraints on Variation: a classification and natural history of metasystem transitions. in: **World Futures: The Journal of general evolution**, n° 45, p. 59-85, 1995. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 15 de maio 2004.

HEYLIGHEN, Francis. Design of an interactive hipermedia interface translating between associative and formal problem representation. In: **International Journal of man-machine studies**. n° 35, p. 491-495, 1990. Disponível em: <http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html>. Acesso em: 10 de ago. de 2004.

HIGGS, Geoffrey. **Complexity science and order Creation**. London school of economyics. London, 2001.

HOLLAND, Jonh H. **Hidden Ordem: how adaptation builds complexity**. Perseus books, Cambridge, Massachusetts, 1995.

HOLLING, C.S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. In: **Ecosystem**. Springer, Verlag, n° 4, pp.390-405, 2001.

HOPFIELD, Jonh. Neural Networks and physical systems with emergent computational abilities. In: **Proceedings of the national academy of sciences**, n° 79, USA, 1982.

HUSSERL, E. Elementos de uma elucidação fenomenológica do conhecimento. In: **Husserl**. São Paulo: Ed. Abril, 1980 (Os Pensadores).

IAROSZINSKI, Alfredo Neto. **Proposta de um modelo conceitual da gestão da produção**

baseado na Teoria da Complexidade: O modelo IMPLEXE. Monografia, Universidade Católica do Paraná – PUC, 2001.

JACOB, F. **La logique du vivant**, Paris, Gallimard, 1970.

KANTER, Rosabeth Moss. Collaborative Advantage. **Harvard Business Review**. July-august , 1994.p.96-108.

KAUFFMAN, S.A. **The Origins of Order: self-organization and selection in evolution**, Oxford University press, New York, 1993.

KELLY, Susanne; ALISSON, Mary Ann. **The complexity Advantage**. McGraw-Hill, New York, 1998.

KLIMENN NETO, Francisco J. Mapeamento e análise de cadeias produtivas.(Slides Mine curso sobre arranjos empresariais). **Enegep**, Ouro Preto, 2003.

KLIMENN NETO, Francisco J; HANSEN, Peter B. Emergência da meso-análise como forma de avaliação de cadeias produtivas e de competitividade empresarial sistêmica. In: ENEGEP (Encontro nacional de Engenharia de Produção), 22, 2002, Curitiba-PR **Anais** Curitiba, PR: PUC, 2002.

KLIR, G.J. **An approach to general systems theory**. New York, Van Nostrand Reinhold. 1969.

KOTLER, Philip. Do marketing móvel às lacunas de valor. **HSM Management**, nº.29, ano 5, p.116-120, nov-dez, 2001.

KOESTLER, A. **Le Cheval dans la locomotive**, Paris, Calmann-Lévy, 1968.

KOESTLER, A. **Les somnambules, essai sur l'histoire des conceptions de l'univers**. Paris, Calmann-Lévy, 1960.

KUHN, T. S. **Estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LABONNE, M. **Sur le concept de filière en économie agro-alimentaire**. Montplier: Institute Nacional de la recherche agronomique, 1985.

LAMBERT, D.M.; COOPER, M.C.;PAGH, J.D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. **The international Journal of Logistics Management**, v..9, no 2, p. 1-19, 1998.

LAMBERT, D.M.; GARDNER, J.T. Developing and implementing supply chain partnerships. **The international Journal of Logistics Management**, v.7, no 2, 1996.

LAMBERT, D. M. **Supply Chain management**. Disponível em: www.logisticssupplychain.org/articles. Acesso em: 04 de abril.2001.

LAMBERT, D. M. **Supply Chain management**. Disponível em: www.logisticssupplychain.org/articles. Acesso em: 24 de out.2003.

LAMBERT, D.M., STOCK, James R., VANTINE, José Geraldo. **Administração estratégica da logística**. São Paulo: Vantine, 1999.

LAMMING, R. Japanese supply chain relationships in recession. In: **Long Range Planning**, nº 33, 2000.

LASZLO, E. **The system's view of the world**. New York, Braziller, 1972.

LEITE, Maria Silene Alexandre; LIMA, Aloisio da Silva. Análise da formação do preço e dos custos em restaurantes de hotéis no Nordeste. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS, 1997, Belo Horizonte- Minas Gerais. **Anais do IV Congresso brasileiro de gestão estratégica de Custos**. 1997.

LEITE, Maria Silene Alexandre. O método ABC/ABM e a relação com os métodos tradicionais de custeio no contexto da gestão estratégica de custos. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS, 1996, Curitiba-PR. **Anais do III Congresso brasileiro de gestão estratégica de Custos**. 1996.

LE MOIGNE, Jean-Louis. **A teoria do sistema geral**: teoria da modelização. Tradução: Jorge Pinheiro. Instituto Piaget, Lisboa, Portugal, 1977.

LENIN, W. Cahier **Philosophiques**. Paris: Éditions Sociales, 1965.

LEWIN, Roger. Complexidade: **a vida no limite do caos**. Tradução: Marta Rodolfo Schmidt. Traduzido de: Complexity: life at the edge of chaos. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LORENZ, Edward N. **The essence of Chaos**. Seattle-USA: University of Washington Press, 1993.

LOTKA, A. **Elements of mathematical biology**. New York: Dover, 1956.

MALHEIROS, Rita de Cássia. Análise de sistemas industriais: **a filière avícola de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 1991, 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. UFSC, Florianópolis, SC.

MATURANA, Humberto R. VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana; tradução: Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001.

MATURANA, Humberto R. VARELA, Francisco J. **De máquinas e seres vivos**: Autopoiese: A organização do vivo. tradução: Juan Açuña Llorens. Porto Alegre: Artes médicas. Tradução de: Autopoiesis: la organización de lo vivo., 1997.

MATURANA, Humberto R. VARELA, Francisco J. **Autopoiesis and cognition**: the realization of the living. Reidel. Dordrecht, 1980.

MATURANA, Humberto. **Biology of cognition**. [S.l.: s.n.]. Original 1970. Reimpresso em 1980.

MACBETH, Douglas K. Emergent strategy in managing cooperative supply chain change. In: **International Journal of operations & Production Management**, n.22, vol.7-8, 2002.

MANDELBROT, Benoît. **The fractal geometry of nature**. Freeman: New York, 1984.

MAYNARD, Smith J. SZATHMÁRY, E. **The Origins of life**: From the Birth of life to the origin of language. Oxford University Press, 1999.

MÉLÈSE, J. **L'analyse modulaire des systèmes de gestion**. Paris: Hommes et Techniques, 1972.

MENTZER, J.T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J.; MIN, S.; NIX, N.; SMITH, C.; ZACHARIA, Z. Defining supply chain management. **Journal of Business logistics**, v.22, no 2, 2001.

MERRIAM, S.B. **Qualitative Research and case study applications in education**. Jossey-Bass Publishers: San Francisco, 1998.

MESAROVIC, M. D. On self-organizational systems. In: **Self-organizing systems**, Washington, Spartan Press, 1962.

MILLER, J.G. **Living systems**. McGraw-Hill, New York, 1978.

MILLER, J.G. **Introduction**: The nature of Living systems. *Behavioral Science*, vol. 35, nº 3, La Jolla, California, 1990.

MINAYO, Maria Cecília de Souza et. al. **Pesquisa Social**: teoria, método e criatividade. Petrópolis, RJ: vozes, 2001.

MINAYO, M.C. de Souza, DESLANDES, S.F.(Org.) **Caminhos do pensamento**: epistemologia e método. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

MINAYO, M.C. de Souza. **O desafio do conhecimento**. São Paulo: Hucitec, 1993.

MONOD, J. **Lê Hasard et la necessite**: essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne, Paris, Ed. du Seuil, 1970.

MORIN, Edgar. **O método 1**: da natureza da natureza; Tradução: Ilana Heineberg. 2ª edição. Porto Alegre: v. 1, sulina, 1977.

MORIN, Edgar. **O método 2**: a vida da vida; Tradução: Marina Lobo. Porto Alegre: v.2 sulina, 1980.

MORIN, Edgar. LE MOIGNE, Jean-Louis. **A inteligência da complexidade**. Tradução: Nurimar Maria Falci. São Paulo: Peirópolis, 2000.

MORATÓ, Jordi C. **Qué son los memes?** Introduccion general a la teoria de memes, [S.I.: s.n.], [199-?].

MORVAN, Y. Filière de production in fondaments d'économie industrielle. In: **Economica**. [S.I.], 1985, p.199-321.

MOSES, Joel. Complexity and Flexibility. [s.n.] In: Serie **Working paper**. Massachusetts Institute of technology, 2002.

MOOS, Scott, GAYLARD, Helen, WALLACHER, Steve, EDMONDS, Bruce. SDML: A multi-agent language for organitional modeling. In: **Comp. Math. Organ. Theory**, 4 n° 1. p.43-70, 1998.

MUSETTI, Marcel Andreotti. A evolução da logística: algumas tendencias. In: ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), 16º, 1996, Piracicaba, **Anais**.Piracicaba, 1996.

NERO, Eva. Metamodelling in the process of designing information systems. In: **Information Systems Journal**, Vol.7, no.3, pp.201-212, 2001.

NICOLIS, Gregoire, PRIGOGINE, Ilya. **Exploring Complexity**: an introduction. New York: W.H. Freeman, 1989.

NOWAK, A., VALLACHER, R. Toward computacional social psychology: cellular automata and neural network models of interpersonal dynamics. In: **Connectionst Models of Social Reasoning and Social behavior**. Lawrence Erlbaum, NJ, 277-311.

OASHI, Maria da Conceição G. **Estudo da cadeia produtiva como subsidio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na Paraíba**. Tese: 1999 (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

OHMAE, Kenichi. Empresas Godzilla e as economias regionais. **HSM management**, No 46, Ano 8, Vol. 4, set-out, 2004. pp. 16-19. Traduzido de:Kenichi Ohmae.

OHMAE, Kenichi. O continente invisível, ano 16 depois de Gates. **HSM management**, No 25, Ano 5, mar-abr, 2001. p. 84-96. Traduzido de:Kenichi Ohmae.

PAPERT, S. Mindstorns: Children. **Computers and Powerful Ideas**. New York: Basic Books, Inc, 1980.

PLATÃO. Doxografia: Platão, sofista. In: **Pré-socráticos**. São Paulo: ed. Abril, 1978(Os pensadores)

PERROW, Charles. **Normal Accidents**: Living with high-risk Technologies.New York: Basic Books, 1984.

PETTERSSON, Max. **Complexity and Evolution**. Cambridge University Press, 1996.

PIGLIUCCI, Massino. Chaos and Complexity: should we be skeptical? In: **Skeptic**. vol. 8, nº 3, 2000, p.62-64.

PIRES, Sílvio R.I. **Gestão da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management):** conceitos, estratégias, praticas e casos. São Paulo, Atlas, 2004.

PIRES, Sílvio R.I. Gestão da cadeia de suprimentos e o modelo de consorcio modular. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v.33, n.3, p. 5-15, jul-set, 1998.

PIRES, Sílvio, R. I., BREMER, C., SANTA EULALIA, L., GOULARD, C. Supply chain and virtual enterprises: comparions, migration and a case study. **International Journal of logistics Research and applications**, v.4, no 3, 2001.

PIRES, Marcio de Souza. **Construção de um modelo endógeno, sistêmico e distintivo de desenvolvimento regional e a sua validação através da elaboração e da aplicação de uma metodologia ao caso do mercoeste**. Tese: 2001 (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

PORTER, Michael E. **Vantagem competitiva:** criando e sustentando um desempenho superior. Tradução: Elizabeth Maria de Pinho Braga. Rio de Janeiro: Campus, 17ª edição, 1989.

PORTER, Michael E. Clusters e competitividade. **HSM management**. No.15, julho-agosto, 1999, p.100-110. traduzido de: Harvard Business Review: Clusters and new economics of competition, nov-dez, 1998.

PRAHALAD, C.K.; RAMASWAMY, V. Criação de valor compartilhada. **HSM management**. nº.34, ano 6, set-out 2002. p.36-42. Traduzido de: Strategy + business.

PRIGOGINE, Ilya, STENGERS, Isabelle. **A nova aliança:** metamorfose da ciência, Tradução: Miguel Faria e Maria Joaquina M. Trincheira. Brasília: UnB, 3ª edição, 1997.

PRIGOGINE, Ilya, STENGERS, Isabelle. **Entre o eterno e a eternidade**. Tradução: Florbela Fernandes e Carlos José Fernandes. Portugal: Gradiva, 1ª edição, 1990.

RIGGS, David A., ROBBINS, Sharon L. Supply Management Strategies. **HSM management**: Book summary 2, 2001, p. 61-83.

RODRIGUES, Sandro A., PIRES, Sílvio R. I. Gestão da cadeia de suprimento como um novo modelo competitivo: um estudo empírico. In: ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), 17º, 1997, Gramado, RGS. **Anais**, Gramado, RGS: UFRGS, 1997.

ROSE, S. Introdução. In: Rose, S (Org.) **Para uma nova Ciência**. Lisboa: Gradiva, 1989.]

ROSNAY, J. **Le macroscope, vers une vision globale**. Paris, Ed. Du Seuil, 1975.

SANTOS, B. S. **Introdução a uma ciência Pós-Moderna**. Rio de janeiro: Graal, 1989.

- SAUSSURE, Ferdinand de. **Cours de linguistique générale**. Geneva, Payot, 1931.
- SEGAL, Lee. Grappling with Complexity. In: **Complexity 1**. [S.I.: s.n.], n.º. 2, p.18-25, 1995.
- SENGE, Peter. M. **A Quinta Disciplina: a arte e a prática da organização que aprende**. Tradução: O. P. traduções. São Paulo, Best Seller, 1998. Tradução de: The fifth discipline.
- SHANNON, Claude. WEAVER, W. **The mathematical Theory of Communication**. Urbana. University of Ollinois Press, 1949.
- STACEY, Ralph D. **Complexity and creativity in organizations**. BK, San Francisco, 1996.
- STEWART, G. Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross-industry framework for integrated supply-chain management. In: **Logistics information management**, v.10, no.2, 1997.
- STEWART, Jonh E. Evolution's Arrow: The direction of evolution and the future of humanity. Champman Press, Rivett, Camberra, Austrália. 2000. Disponível em: <http://www4.tpg.com.au/users/jes999>. Acesso em: 20 de abril 2003.
- STEINBRUNER, J. D. **The cybernetic theory of decision, new dimension of political analysis**. New Jersey, Princeton University Press, 1974.
- SILVA, Edna Lúcia da. MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000, 118p.
- SIMON, Herbert. **As ciências do artificial**. Tradução: Luís Moniz Pereira.Coimbra-Lisboa. Sucessor, 1969.
- SIMON, Herbert. The organization of complex systems. In: **HH Pattee**, editor. Hierarchy Theory: the challenge of complex systems. New York: Harper & Row, 1974.
- SMITH, Mark.A. BAR-YAM, Yanner, GELBART, William. Quatitative languages for complex systems applied to biological structure. Harvard University, USA and New England. In: **complex systems institute**. Cambridge, London 2001.
- SMIDA, Ali. Approche de la complexxite par la prospective. Maître de **Confèrences**, Université de Paris XIII, France. [S.I.: s.n.]. [199-?].
- SNOWDEN, Dave. A nova forma de ser simples. **HSMmanagement**, n.º 39, ano 7, volume 4, p.98-106, jul-ago 2003. Traduzido de: Knowledge Management.
- SOUZA, Sinval Oliveira. **Desenho e análise da cadeia produtiva dos vinhos finos da Serra Gaúcha**. Dissertação: 2001 (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-graduação em Engenharia de produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RGS

SUH, P. Nam. The Theory of Complexity, Periodicity and the Desing Axioms. In: **Research in Engineering Desing**. Verlag London limited.p.116-131, 1999.

SUSSMAN, Joseph M. Collected views on complexity in systems. Serie **Working paper**. Massachusetts Institute of technology, 2002.

TAYLOR, S.J., and BOGDAN. **Introduction to Qualitative Research Methods**. New York: Wiley , 1998.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

THOMKE, Stefan. HIPPEL, Eric Von. Clientes como parceiros de P&D. **HSM management**. n° 35, ano 6, nov-dez. 2002, p.92-100. Traduzido: Harvard Business Review: Customers as innovators.

THOMKE, Stefan. HIPPEL, Eric Von. Customers as innovators: a new way to create value. **Harvard Business Review**, no.4, vol.80, abril, 2002. p. 74-81.

TURCHIN, Valentin. **The Phenomenon of Science**: a cybernetic approach to human evolution. Columbia University Press, New York,1977. simultaneamente Disponível no site: [http:// pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html](http://pespmc1.vub.ac.be/POSBOOK.html). acesso em 04.04.2004.

VANDERMERWE, Sandra. O foco total no cliente em 10 etapas. **HSM management**. No 46, ano 8, vol. 4, set-out. 2004. Traduzido do: Sloan Management Review. p.46-54.

VARELA, Francisco, MATURANA, Humberto, URIBE, Ricardo. Autopoiesis: the organization of living systems: its charcterization and a model. [S.I.: s.n.]. **Biosystems** 5, 187-196, 1974.

VASCONCELOS, Eduardo Mourão. **Complexidade e pesquisa interdisciplinar**: epistemologia e metodologia operativa. Petrópolis, RJ: vozes, 2002.

VIGO, G. Princípios de uma ciência nova. In: **Vico**. São Paulo: Ed. Abril, 1979 (Os pensadores).

VILLEGAS, Oswaldo Ramon Teran. **Emergent tendencies in multi-agent-based simulations using constraint-based methods to effects practical proofs over finite subsets of simulation outcomes**. Thesis doctored. Centre for policy modellig the Manchester Metropolitan University, 2001.

VOLLMANN, Tomas; CORDON, Carlos. Building successful customer-supplier alliances. **Long range Planning**. V..31, n.5, p.684-694, oct, 1998.

VOLLMANN, Tomas; CORDON, Carlos, RAABE, Hakon. Supply chain management: making the virtual organization work. **Executive Report**, Lausane: IMD (International Institute for Management Development) v.19, fev, 1996.

VON NEUMANN, Jonh **Theory of Self-Reproducing Automata**. Arthur W. Burks, University of Illinois Press, 1966.

ZEIGLER, B. **Theory of modeling and Simulattion**. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, F.I., USA, 1976.

ZOOK, Chris. A força do core business. **HSM management**. n° 40, ano 7, vol.5, set-out 2003, p.68-71.

WADDINGTON, C. H. **Tools for Thought**: how to understand and apply the latest scientific techniques of problem solving. New York: Basic Books, 1997.

WALDROP, M. Mitchell. **Complexity**: the emerging science at the edge of order & chaos. Simon and Schuster, New York, 1992.

WARREN, Keith; FRANKLIN, Cynthia; STREETER, Calvin. New directions in systems theory: Chaos e Complexity. In: **National Association of Social Working**, vol.43, n° 4, p.357-372. July 1998.

WEAVER, W. Science and complexity. [S.I.: s.n.]. **American Scientist**, n° 36. p.536-544, 1948.

WEINBERG, G.M. **An introduction to general systems thinking**. New York, Jonh Wiley & sons. 1975.

WOLFRAN, Stephen. Theory and Applications of Cellular Automata. In: **World Scientific**, Singapore, 1983.

WOOD, Thomaz, ZUFFO, Paulo K. Supply Chain Management. **Revista de administracao de empresas (RAE)**, v.38, n.3, p.55-63, Jul/Set, Sao Paulo, 1998.

WU, J. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. In: **Canadian Journal of Remote Sensing**. vol.25, n° 4, p.367-380, 1999.

WU, J. Modeling Complexity Ecological System: an introduction. In: **Ecological Modelling**. p.1-6, 2002. www.Elsevier.com/locate/ecomodel. Disponível em 08/06/2004. acesso em: 23 de junho de 2004.

Glossário

Adaptação	Propriedade dos sistemas complexos, que lhe confere a capacidade de perceberem as mudanças do ambiente, organizarem-se internamente e se ajustarem as perturbações do ambiente externo.
Agente	Entidade capaz de ação, reação e reflexão. Ele é capaz de modificar o ambiente em que atua, ao mesmo tempo em que pode ser mudando pelo ambiente.
Atrator	É um objeto ou situação que norteia o equilíbrio do sistema. Os atratores podem ser: punctiformes, periódicos e estranhos. Os punctiformes são norteados por pontos fixos localizados no centro do espaço de fase, o qual atrai a trajetória do sistema. Os periódicos possuem oscilações periódicas e regulares, seguindo uma trajetória conhecida e determinada. Os estranhos possuem comportamentos imprevisíveis, gerando padrões que nunca se repetem.
Auto-organização	A partir da emergência de novas propriedades advindas das interações, o sistema pode se auto-organizar, mudando de um nível de complexidade para outro, não necessariamente para melhor nível.
Co-evolução	Quando os sistemas interagem, há a possibilidade de uma evolução conjunta. As qualidades de um deles podem ser absorvidas pelos de outro e vice-versa, levando-os a mudarem de níveis de complexidade. Um sistema também pode influenciar negativamente outro sistema e a co-evolução pode ser negativa. Por isso, é importante ficar atento às interações assumidas pelo sistema.
Complexidade	Termo usado com vários sentidos e abrangências. É utilizado em diferentes campos da ciência. Os diferentes usos depende do tipo de sistema que é caracterizado, bem como da perspectiva disciplinar que o suporta e da percepção do observador. É uma palavra multidimensional. Pode ser empregada fora do contexto das Ciências da Complexidade, como substantivo, para designar o crescimento de um setor, ou como adjetivo, para designar o aumento de inter-relações em um setor. Assim, a complexidade está relacionada a: número de elementos, número de relações do sistema, percepções, interesses e capacidades do observador. Ela pode está presente na estrutura, no comportamento, na organização e na evolução do sistema, porém, para que seja percebida, é preciso que o sistema reconheça que funciona entre a ordem e a desordem. Por todos esses motivos, não existe uma definição padrão para o termo.
Dialógica	Convivência de duas lógicas, uma de ordem outra de desordem. Preceito básico para a emergência da complexidade. Isto porque, no estado de desordem, não existe a possibilidade de formação de estrutura ou diferenciação, e no estado de ordem, o sistema é linear e determinístico, fato que impossibilita a emergência da complexidade.

Emergência	Propriedade dos sistemas complexos que surgem das interações entre as partes e o todo, sem um planejamento prévio. São qualidades novas e diferentes, das exibidas pelas partes isoladas do sistema. A emergência somente acontece pela interação.
Espaço de Fase	Conjunto de todos os possíveis estados que podem assumir as variáveis que compõem um sistema.
Estrutura	Arcabouço de suporte indispensável à emergência das propriedades de um sistema complexo.
Evolução	Os sistemas complexos tendem a evolução. A evolução ocorre pelas interações, experiências acumuladas e pela capacidade que os sistemas possuem de perceber, identificar e acessar as informações e usando-as a seu favor.
<i>Fitness Landscape</i>	É um termo usado na Biologia para designar espaço de possibilidades ou o cenário de aptidão de um sistema vivo. Dependendo da posição no cenário, das ferramentas usadas e percepção do observador, o <i>fitness landscape</i> do sistema pode ser maior ou menor.
Hierarquia	Pode significar subordinação ou integração. Nesse trabalho, significa integração. Um sistema é hierárquico, quando possui subsistemas inter-relacionados que são hierárquicos em estrutura, em relação aos outros, até que atinja um determinado nível inferior de subsistemas elementares. Os níveis são recursivos e semi-autônomos.
Interação	Condição essencial para a sobrevivência do sistema. As interações formam a base de sua dinâmica. São ações recíprocas, que modificam o comportamento do sistema e podem originar sua organização.
Níveis de complexidade	Pelo processo de evolução, o sistema pode mudar de um nível de complexidade para outro. A mudança de um nível para outro aumenta ou diminui a aptidão (capacidade de sobreviver eficientemente no ambiente) desse sistema.
Mutação	Analogia ao processo de mutação celular. No processo de mutação, as mudanças ocorrem somente dentro da organização interna do sistema. Podem mudar um ou mais elementos dentro desse sistema.
Paradigma Reducionista	Predominante na ciência clássica e, depois na ciência moderna, instituída por Descartes, amplamente usada e difundida desde a sua origem. A lógica é reduzir os fenômenos ao desempenho de suas partes, desconsiderando as conexões entre si.
Paradigma Sistêmico	Questiona a perfeição e a universalidade do paradigma reducionista, identificando sistemas que somente existem e evoluem, se interagirem, como o caso dos sistemas humanos. Aponta a imprevisibilidade de comportamentos e as relações não-lineares que ocorrem em alguns

sistemas. Esses sistemas precisam ser associados ao contexto, e não apenas, analisado em partes isoladas.

Pressões Seletivas	São perturbações externas, que podem interferir na organização interna do sistema. São mecanismos de equilíbrio. Usualmente, o sistema possui uma grande variedade de elementos e interações e constantemente, precisa selecionar os mais importantes em determinada situação. Quanto mais estável o sistema, maior será sua capacidade de reconhecer as perturbações e se ajustá-las.
Recombinação	O sistema procede a novas conexões fora da sua organização interna. As novas conexões podem evoluir ao longo do tempo, mudando o padrão de interconexões, a intensidade de cada conexão e suas formas de funcionamento.
Sistema	Não é um conjunto de partes. Para ser sistema, o objeto deve possuir conexões com outros objetos, ser dinâmico (mudar no tempo), ser organizado e possuir uma amplitude sistêmica.
Sistema Complicado	Sistemas que não dependem das conexões para sobreviverem. A análise de uma parte, pode ser feita independente de outra e do todo, com resultados satisfatórios. Apresentam comportamento previsível, relações lineares e atuam com total racionalidade. Em geral, esses sistemas são idealizados e artificiais, relacionados a visão mecanicista e reducionista.
Sistema Complexo	Sistemas que dependem das conexões para sobreviverem. Uma parte não pode ser interpretada sem a compreensão de suas interrelações. Do movimento de interação entre todo e parte, emergem os comportamentos imprevisíveis. Em geral, são sistemas reais e naturais, relacionado a visão sistêmica.
Sistema Complexo Adaptativo	É composto de agentes que aprendem e evoluem. Eles se adaptam ao ambiente externo pela capacidade de interação. Captam regularidades pela observação do comportamento de outros sistemas e de si mesmo e transformam essas informações em esquemas que auxiliam a sua ação, reação e reflexão.
Trajectoria	Percurso assumido pelo sistema, da sua condição inicial, passando pelas mudanças nele próprio e no seu contexto, até o estado atual desse sistema.
Variação – Seleção	Processo presente em todos os sistemas complexos. A variação é gerada pelas interações e tem a função de aumentar a aptidão do sistema, torná-lo mais resistente às perturbações externas e por consequência, mais estáveis. Apesar disso, são desenvolvidas muitas interações que não alcançam um estado de estabilidade, sendo eliminadas pelo processo de seleção.

APÊNDICE A – Aspectos observados para a determinação do nível de evolução em complexidade da empresa.

1. Nível de variação presente no interior da empresa.
 - Observar como as pessoas são selecionadas: a partir de um padrão pré-estabelecido ou com perfis variados.
 - Observar se as idéias dos funcionários são ou não aceitas, analisadas e implementadas.
 - Observar se existe algum tipo de incentivo, para que os funcionários apresentem alternativas, que busque solucionar problemas detectados em seus departamentos.
2. Observar como ocorre a seleção dos parceiros, pela empresa focal, em meio a variedade de opções apresentadas pelo mercado.
3. Observar como ocorrem as interações, entre a empresa focal e as parceiras selecionadas para os relacionamentos comerciais.
4. Identificar como as empresas da cadeia otimizam suas aptidões (capacidades), para sobreviverem no mercado.
5. Observar se as relações dentro da empresa, são de cooperação, de competitividade ou mistas.
6. Levantar características peculiares das empresas, com as quais a empresa focal se relaciona.
7. Observar como as empresas se relacionam com o mercado.
8. Descrever a estrutura hierárquica de funcionamento das empresas analisadas.
9. Observar como as empresas percebem as mudanças no mercado. Destacando os meios usados, para ajustar a organização interna, à mudanças do mercado.

10. Observar o grau de estabilidade da empresa, no mercado em que atua.
11. Verificar como as empresas captam regularidades, no ambiente da cadeia e no ambiente externo, que permitam se adaptar melhor ao mercado.
12. Levantar quais os mecanismos internos utilizados pelas empresas para captarem os padrões de regularidade de erros e acertos, ao longo dos relacionamentos na cadeia de suprimentos, e com o ambiente externo.
13. Observar o grau de autonomia da empresa na tomada de decisão.
14. Levantar as funções e as atividades desenvolvidas pelas empresas.
15. Observar se as empresas apresentam diferenciação de funções para tarefas específicas.
16. Verificar a capacidade de memória das empresas, bem como os registros de suas trajetórias.
17. Observar se as empresas percebem as diferentes partes que as constituem e se têm consciência de suas conexões.
18. Observar se as empresas têm consciência da diversidade de processos, atividades, funções e tarefas que possuem internamente e se reconhecem individualidade as aptidões de cada agente na empresa.
19. Verificar se as empresas conseguem reconhecer, acessar e usar as interações que possuem na estrutura da cadeia de suprimentos e no ambiente externo.
20. Observar se as empresas são capazes de perceber que as interações locais podem afetar o comportamento da cadeia a que pertencem e vice-versa, de modo positivo ou negativo.
21. Identificar as mudanças ocorridas nas empresas no decorrer de seus relacionamentos com a cadeia de suprimentos e com o ambiente externo.

22. Observar as partes das empresas, que se mantêm estáveis diante das mudanças do ambiente externo.
23. Observar se as empresas captam as informações do mercado, para se manterem atualizadas internamente.
24. Levantar os mecanismos internos usados pela empresa, para reconhecer informações importantes, vindas do ambiente externo.
25. Verificar se a empresa possui um setor destinado ao armazenamento das informações, relativas ao funcionamento interno e suas conexões com outras empresas.
26. Observar se as informações são disseminadas pela empresa e, se há compartilhamento de informações ou retenção de informações.

APÊNDICE B – Roteiro de observação usado para levantar os critérios de seleção empregados para auxiliar a empresa focal na escolha de empresas parceiras, com nível de complexidade entre 7 e 9, bem como avaliar os relacionamentos vigentes.

1. Identificar a estrutura hierárquica da empresa.
2. Levantar as principais informações processadas pela empresa.
3. Descrever a rotina de funcionamento da empresa.
4. Observar se a empresa considera as imprevisibilidades, que podem surgir no decorrer de seu funcionamento.
5. Identificar a missão da empresa.
6. Descrever os departamentos mais estáveis e instáveis da empresa, descrevendo as causas das estabilidades e das instabilidades.
7. Levantar os mecanismos de controle interno da empresa.
8. Observar a importância das interações internas e das conexões externas realizadas pela empresa.
9. Levantar a escala de análise, na qual a empresa se concentra e orienta sua atuação no mercado.
10. Observar a energia mais ativa na empresa: a competição ou a cooperação.
11. Observar se os funcionários possuem autonomia na tomada de decisão.

APÊNDICE C – Roteiro de observação usado como suporte para levantar aspectos que identificam a posição espaço-temporal das empresas envolvidas na modelagem.

1. Verificar o tempo em que a empresa está no mercado.
2. Identificar quais concorrentes diretos a empresa possui.
3. Observar a qual segmento de mercado a empresa pertence.
4. Identificar o estágio do ciclo de vida, em que a empresa está no período atual de funcionamento.
5. Identificar a posição da empresa no mercado local.
6. Observar como a empresa é vista pelos concorrentes.
7. Observar se a empresa se diferencia dos concorrentes.
8. Observar se a empresa reconhece sua localização estratégica.

APÊNDICE D – Roteiro de observação empregado como apoio para apurar se as relações entre as empresas são estáveis ou instáveis.

1. Observar os tipos de relacionamentos estabelecidos pela empresa focal para interagir com outras empresas.

Tipos de Relacionamentos	Empresas		
	Fornecedora	Focal	Cliente
Único Negócio (Licitação)			
Acordos Abertos			
Alianças			
Organização Virtual			
Organização em Rede			
<i>Outsourcing</i>			
Parcerias			

2. Verificar o período de tempo em que está em vigor determinado relacionamento.
3. Identificar a frequência dos relacionamentos das empresas.
4. Observar o número de vezes por ano, que a empresa focal trocou de fornecedor. Tipo de fornecedor e motivo da mudança.

APÊNDICE E – Roteiro de observação usado como apoio para avaliar o nível de cooperação e competitividade nas interações

Quanto ao Ambiente Organizacional

1. Observar como as informações são distribuídas pelas empresas.
2. Verificar a necessidade das informações para a execução das atividades da empresa.
3. Observar se há compartilhamento de informações, entre os funcionários do nível estratégico e operacional das empresas.
4. Verificar se há ocorrência de erros na execução das atividades das empresas. Em caso positivo, observar que atitude é tomada para corrigí-los.
5. Observar a reação do chefe imediato, caso o subordinado hierarquicamente cometa algum tipo de erro na execução de suas atividades.
6. Observar o clima interno das empresas, verificando se existe rivalidade entre alguns dos seus subsistemas (departamentos).
7. Observar quais os subsistemas, que melhor se relacionam dentro da empresa e quais aqueles que pior se relacionam.
8. Observar se existem ou existiram situações em que, um funcionário tenha sido afrontado por um colega do mesmo departamento.

Quanto as interações

1. Observar as interações essenciais ao funcionamento dos subsistemas, de cada empresa e da cadeia.

2. Verificar se existem empecilhos, para que as interações essenciais ocorram com sucesso.
3. Observar quais departamentos devem ser integrados, para que as interações essenciais ocorram com sucesso.
4. Observar se aconteceram fatos negativos, em decorrência de falhas de comunicação nas interações de determinado departamento.
5. Observar as ocorrências de interações diretas e indiretas.
6. Observar quais os subsistemas de cada empresa da cadeia mapeada, têm autonomia para tomar decisões.
7. Verificar quais os subsistemas com maior grau de autonomia dentro das empresas e o limite dessa autonomia na tomada de decisões.

APÊNDICE F: Demonstração do uso da matriz de análise estrutural e da MICMAC (Matriz de Impacto Cruzado – Multiplicação Aplicada a uma Classificação)

Para a construção deste apêndice, foram selecionadas algumas variáveis do nível de integração **elementar** da arquitetura da modelagem proposta, conforme Capítulo 5, seção 5.1.5, Fase 5. Em seguida, procedeu-se a elaboração da matriz de análise estrutural e a classificação direta das variáveis. Na sequência, estabeleceu-se o grau de influência direta entre as variáveis e, por fim, se fez a escolha das variáveis-chave pelo método MICMAC, ocorrendo a hierarquização destas variáveis e classificando-as em: mais autônomas e mais dependentes, podendo emergir neste processo, variáveis ocultas. Concluiu-se a sequência, com a elaboração de um mapa de interações, destacando as variáveis-chave do sistema modelado. Ressalta-se que, os resultados desta aplicação simplificada, são diferentes dos resultados encontrados na validação feita com as empresas da cadeia de suprimentos modelada, sendo apenas uma representação parcial, para entendimento e conhecimento do processo, para a obtenção dos resultados. A seguir, é detalhada cada etapa do referido procedimento.

F. 1 Variáveis Selecionadas da Empresa Focal - Nível Elementar da Arquitetura Proposta

A primeira etapa consiste em escolher as variáveis que farão parte da demonstração. Neste exemplo, trabalhou-se apenas com algumas das **variáveis externas** que compõem a **empresa focal**, do **nível de integração elementar** da arquitetura proposta na modelagem apresentada no Capítulo 5, seção 5.1.5 e validada no Capítulo 6, seção 6.1.5. Estas variáveis interagem dentro dos departamentos, aos quais pertencem, e se relacionam com outros departamentos. As variáveis internas são aquelas que, atuam apenas dentro das fronteiras do departamento a que pertencem, não se estendendo a outros departamentos. O Quadro F.1 mostra as variáveis selecionadas e consideradas neste Apêndice.

Empresa Focal – Levantamento das variáveis externas	
Subsistemas	Processos
Governança	Check-in da governança
	Check-out da governança
	Controle de apartamentos
	Liberação de apartamentos
Recepção	Check-out recepção
	Conferência de Check-in recepção
	Confirmar reservas
	Bloqueio de apartamentos
Financeiro	Conferência de contas
	Negociação com fornecedores
	Controle da folha de pagamento
	Comissão das agencias de viagens
Infra-estrutura	Atender requisições da governança
	Acompanhar custos da infra-estrutura
	verificar necessidade de compras
	Atender requisições de eventos
Comercial	Atender reservas
	Captação e organização de eventos
	Prospectar novos clientes
	Inserir reservas no sistema

Quadro F.1: Variáveis Consideradas

A segunda etapa consiste em elaborar uma matriz de análise estrutural, composta de zeros e uns, na qual o um (1) indica que a variável da linha influencia diretamente a variável da coluna, enquanto o zero (0) indica que não existe tal influência.

Na seqüência, a Tabela F.1 mostra as influências diretas entre as variáveis selecionadas para este exemplo. Nota-se que, o processo *negociação com fornecedores* influencia diretamente os processos *conferência de contas* e *verificar necessidade de compras*, sendo influenciado apenas pelo processo *verificar necessidade de compras*. O preenchimento da matriz de análise estrutural segue a lógica anteriormente descrita em todas as células do cruzamento das variáveis que a compõe.

A terceira etapa consiste em classificar as variáveis, conforme os valores das somas das linhas e das colunas, como apresentado no Quadro F.2, na seqüência.

F.2 Elaboração da Matriz de Análise Estrutural – Estabelecimento das relações de influência diretas entre as variáveis

	<i>Check-in</i>	<i>Check-out</i>	Controle de apartamento	liberação dos apartamentod	<i>Check-out</i> - recepção	conferencia de <i>check-in</i>	Confirmar reservas	Bloqueio de Apartamentos	Conferencia de contas	Negociação com	Controle da folha de	Comissão das agências de	Atender requisições da governança	Acompanhar custos da infra-	Verificar	Atender requisições de	Atender reservas	Captação e organização de	Prospectar novos clientes	Inserir reservas	Soma
<i>Check-in</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	12
<i>Check-out</i> - Governança	1		1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	11
Controle de apartamentos	1	1		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	09
Liberação de apartamentos	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	06
<i>Check-out</i> – Recepção	1	1	1	1		1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	10
Conferência de <i>Check-in</i>	1	1	1	1	1		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	09
Confirmar reservas	1	1	1	1	1	1		1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	11
Bloqueio de Apartamentos	1	1	1	1	1	1	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	08
Conferência de contas	1	1	1	0	1	1	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	06
Negociação com fornecedores	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	02
Controle da folha de pagamentos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	01
Comissão das agências de viagens	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0	06
Atender requisições da governança	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	05
Acompanhar custos da infra-estrutura	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	1	0	0	0	0	03
Verificar necessidade de compras	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	02
Atender requisições de eventos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	00
Atender reservas	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	07
Captação e organização de eventos	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	02
Prospectar novos clientes	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		1	07
Inserir reservas no sistemas	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1		13
Soma	14	12	10	10	13	11	11	09	09	01	01	03	02	01	02	02	08	00	03	08	

Tabela F.1: Matriz de Análise Estrutural

Legenda: 1 – quando a variável (i) influencia diretamente a variável (j)

0 – quando a variável (i) não influencia diretamente a variável (j)

F. 3 Classificação direta das variáveis

A partir da matriz de análise estrutural, foi possível determinar as variáveis com maior ação direta sobre o sistema modelado, bem como as variáveis mais influenciadas pelo sistema. A motricidade das variáveis é determinada pela soma das linhas da matriz estrutural. Quanto maior a soma da linha, maior é a influência exercida pela variável no sistema. As variáveis motrizes são aquelas cuja evolução condiciona mais o sistema. Quanto maior a soma da coluna, mais a variável é influenciada pelo sistema. As variáveis dependentes são as mais sensíveis à evolução desse sistema.

Variáveis	Ação da variável sobre o sistema
Check-in governança	motriz
Check-out governança	motriz
Controle de apartamentos	motriz
Liberação de apartamentos	dependente
Check-out recepção	motriz
Conferência de Check-in de recepção	motriz
Confirmar reservas	motriz
Bloqueio de apartamentos	motriz
Conferência de contas	dependente
Negociação com fornecedores	dependente
Controle da folha de pagamento	dependente
Comissão das agências de viagens	dependente
Atender requisições da governança	dependente
Acompanhar custos da infra-estrutura	dependente
Verificar necessidade de compras	dependente
Atender requisições de eventos	dependente
Atender reservas	motriz
Captação e organização de eventos	dependente
Prospectar novos clientes	dependente
Inserir reservas no sistema	motriz

Quadro F.2: Classificação direta das variáveis

A quarta etapa consiste em estabelecer o grau de influência direta entre as variáveis, atribuindo valores de acordo com o grau de importância das interações. A tabela F.2 mostra os graus de importância das interações no sistema. O preenchimento dela, é feito por meio de um processo de interrogação sistemática, realizada com os agentes envolvidos no processo de construção da matriz. O grau de influência das variáveis é empregada para reforçar os resultados da Tabela F.1, em decorrência do nível de subjetividade, existente no preenchimento desta matriz.

F.4. Elaboração da Matriz de Análise Estrutural – Estabelecimento do grau de influência direta entre as variáveis

	<i>Check-in</i>	<i>Check-out</i>	Controle do apartamento	liberação dos apartamentos	<i>Check-out</i> - recepção	conferencia de <i>check-in</i>	Confirmar reservas	Bloqueio de Apartamentos	Conferencia de contas	Negociação com	Controle da folha de	Comissão das agências de	Atender requisições da governança	Acompanhar custos da infra-	Verificar necessidade de	Atender requisições de	Atender reservas	Captação e organização de	Prospectar novos clientes	Inserir reservas
<i>Check-in</i>		3	3	2	3	3	1	1	1	P	P	P	P	P	P	P	2	P	P	P
<i>Check-out</i> - Governança	3		3	3	3	2	P	P	1	P	P	P	2	P	P	P	2	P	1	2
Controle de apartamentos	3	3		3	1	2	3	3	3	P	P	P	P	2	P	P	2	1	1	2
Liberação de apartamentos	3	3	3		3	3	3	3	P	P	P	P	P	P	P	P	3	1	1	3
<i>Check-out</i> – Recepção	3	3	3	3		2	3	2	3	P	P	P	P	P	P	P	3	1	1	1
Conferencia de <i>Check-in</i>	3	3	3	1	2		3	2	2	P	P	3	1	P	P	P	2	1	1	2
confirmar reservas	3	3	3	3	3	3		3	2	P	P	2	1	P	P	P	2	1	1	3
Bloqueio de Apartamentos	3	3	3	3	3	2	3		P	P	P	2	P	P	P	1	2	P	P	2
Conferencia de contas	P	P	3	P	3	3	P	P		3	3	3	P	3	3	P	P	1	P	P
Negociação com fornecedores	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	3	P	P	P	P	P
Controle da folha de pagamentos	P	P	P	P	P	1	P	P	1	P		2	P	P	P	P	P	P	P	P
Comissão das agências de viagens	3	P	2	P	3	P	2	2	3	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P
Atender requisições da governança	1	1	2	2	P	P	P	1	P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P
Acompanhar custos da infra-estrutura	P	P	1	P	P	P	P	1	3	P	P	P	P		P	P	P	P	P	P
Verificar necessidade de compras	P	P	1	1	P	P	P	P	2	3	P	P	1	1		P	P	P	P	P
Atender requisições de eventos	2	2	P	P	P	P	P	1	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	3
Atender reservas	3	3	3	3	3	3	3	2	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P
Captação e organização de eventos	2	2	2	P	1	P	1	P	1	P	1	P	P	P	P	P	P		3	P
Prospectar novos clientes	2	2	P	P	3	1	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	2		1
Inserir reservas no sistemas	3	3	3	3	3	3	3	3	P	P	P	P	P	P	P	3	P	P	P	

Tabela F.2: Matriz para identificar o grau de influência das variáveis

Legenda: 3 – Influência muito forte

2 – Influência forte

1 – Influência Fraca

P – Influência potencial

Observa-se na Tabela F.2 que, o processo *negociação com fornecedores*, apresenta interação com influência muito forte com o processo *verificar necessidade de compras*, enquanto é influenciado fortemente pelos processos *conferência de contas e verificar necessidade de compras*. A interação analisada confirma os resultados indicados pela Tabela F.1, a qual aponta influências diretas entre tais processos.

A quinta etapa consiste em identificar as variáveis-chave do sistema, usando o método MICMAC (ver Capítulo 3, seção 3.4.4 e Capítulo 5, seção 5.1.6). O processo para identificação das variáveis-chave é realizado da seguinte forma: a matriz descrita na Tabela F.1 é elevada ao quadrado, ao cubo, a quarta e assim, sucessivamente até que as variáveis se estabilizem. Para construir o processo de iterações, a fim de obter tais resultados, foi empregado um software para construção das matrizes de análise estruturais e das MICMACs (Godet, 1993), motivo pelo qual, tal processo não foi apresentado neste apêndice. O Quadro F.3 apresenta os resultados obtidos.

F.5 Pesquisa das variáveis-chave pelo método MICMAC

Variáveis	1ª Iteração	2ª Iteração	3ª Iteração	4ª Iteração
	Classificação	Classificação	Classificação	Classificação
<i>Check-in</i> governança	motriz	motriz	motriz	motriz (Variável –chave)
<i>Check-out</i> governança	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Controle de apartamentos	dependente	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Liberação de apartamentos	dependente	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
<i>Check-out</i> recepção	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Conferência de <i>check-in</i> recepção	motriz	dependente	dependente	dependente
Confirmar reservas	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Bloqueio de apartamentos	dependente	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Negociação com fornecedores	dependente	dependente	dependente	dependente
Controle da folha de pagamento	dependente	dependente	dependente	dependente
Comissão das agências de viagens	motriz	dependente	dependente	dependente
Atender requisições da governança	dependente	dependente	dependente	dependente
Acompanhar custos da infraestrutura	dependente	dependente	dependente	dependente
Verificar necessidade de compras	motriz	dependente	dependente	dependente
Atender requisições de eventos	dependente	dependente	dependente	dependente
Atender reservas	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Captação e organização de eventos	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)
Prospectar novos clientes	dependente	dependente	dependente	dependente
Inserir reservas no sistema	motriz	motriz	motriz	motriz(Variável –chave)

Quadro F.3: Seleção das Variáveis-chave

A lógica de funcionamento do método MICMAC é verificar se existem relações indiretas entre as variáveis. Para isso, eleva-se a matriz de análise estrutural à potência (2,3,4,5....), até que as variáveis apresentem estabilidade na classificação. Os resultados das interações demonstram um sistema com dez variáveis motrizes e dez variáveis dependentes.

Observando o Quadro F.3, percebe-se que foram realizadas quatro iterações, sendo que, a partir da terceira, as variáveis apresentaram estabilidade quanto a sua classificação em motriz e dependente, evidenciando as variáveis-chave do sistema modelado.

A sexta etapa consiste em elaborar um mapa com as interações entre as variáveis, destacando as variáveis-chave. As variáveis *check-in* da governança, *check-out* da governança, controle de apartamento, liberação de apartamentos, *check-out* da recepção, confirmar reservas, bloqueio de apartamentos, atender reservas comercial, captação e organização de eventos e inserir reservas no sistema, são as variáveis-chave do sistema modelado.

F.6 Elaboração do Mapa das interações

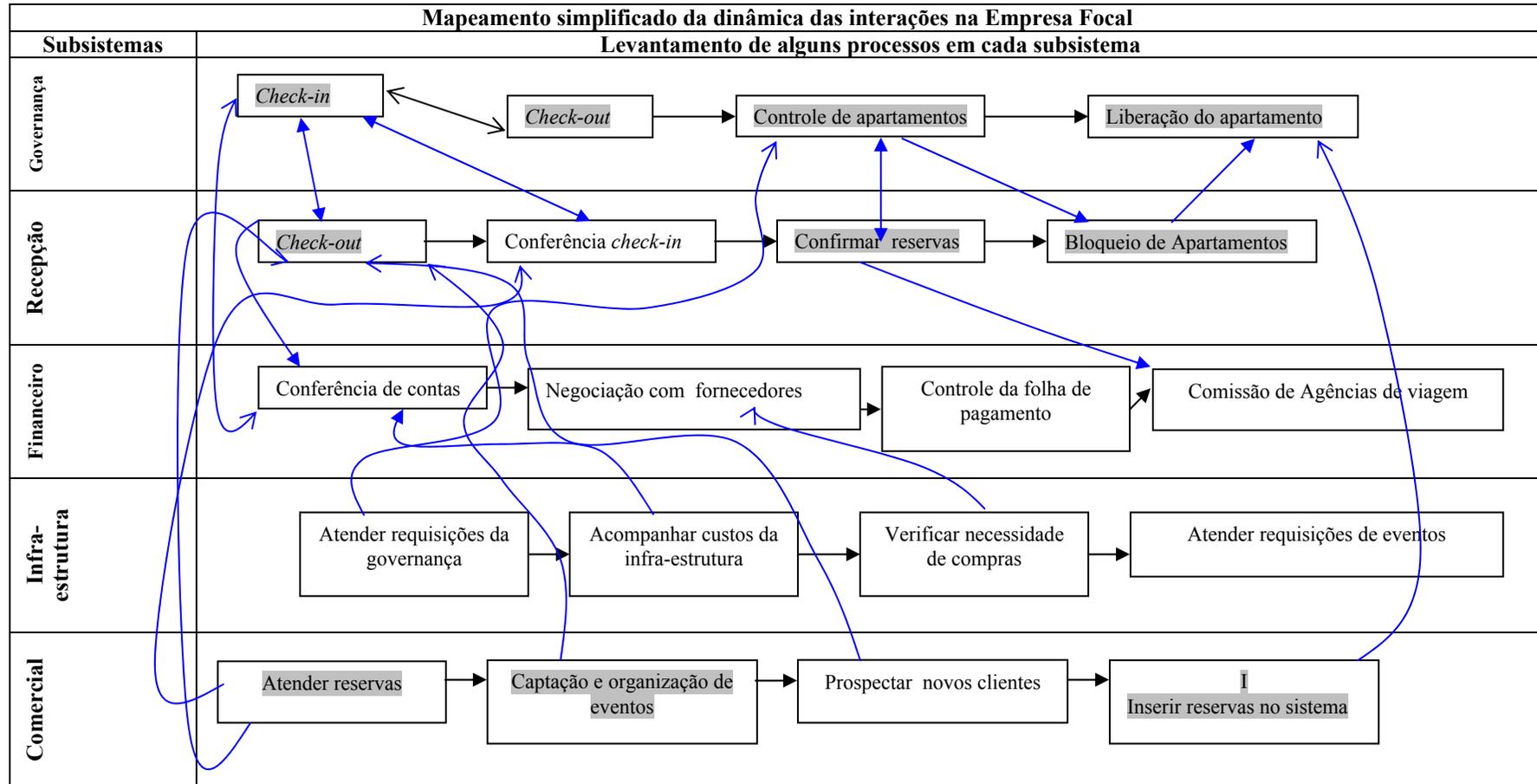


Figura F1: Mapa das Interações