UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DA TEORIA DO CAOS E
COMPLEXIDADE À GESTÃO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Rodolfo Leandro de Faria Olivo

Orientador: Prof. Dr. Sergio Gozzi

SÃO PAULO
2010

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Reinaldo Guerreiro
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Adalberto Américo Fischmann
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Lindolfo Galvão de Albuquerque
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

RODOLFO LEANDRO DE FARIA OLIVO

**UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DA TEORIA DO CAOS E
COMPLEXIDADE À GESTÃO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Gozzi

SÃO PAULO

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Olivo, Rodolfo Leandro de Faria

Um estudo sobre aplicações da teoria do caos e complexidade à gestão das cadeias de suprimentos / Rodolfo Leandro de Faria Olivo. – São Paulo, 2010.

115 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2010.

Orientador: Sérgio Gozzi.

1. Cadeia de suprimentos – Administração 2. Teoria do caos
3. Complexidade I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade II. Título.

CDD – 658.7

**À Rafaella, o amor da minha vida;
Aos meus pais, por seu apoio incondicional, sempre.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Sergio Gozzi, pela orientação e confiança neste trabalho, mas também, e especialmente, por sua amizade e apoio em todas as horas, por ser muito mais que apenas um orientador, mas um grande amigo e mentor.

Ao Prof. Dr. Nivaldo Elias Pilão e ao Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Junior por suas valiosas sugestões e críticas a este trabalho.

À minha amada esposa Rafaella, por sua paciência e estímulo, sem os quais este estudo jamais teria sido escrito.

À FEA/USP por proporcionar um ambiente acadêmico estimulante, bem como fornecer apoio institucional e facilidades para a execução desta pesquisa.

Aos demais professores e colegas da FEA/USP com os quais convivi, pelas inestimáveis contribuições.

A meus pais, familiares e amigos pelo apoio e compreensão.

A todos, sou eternamente grato.

“O Senhor é sutil, mas não é malicioso.”

**Ao ser questionado por um colega sobre o
queria dizer com esta afirmação, *Albert
Einstein* respondeu:**

**“A natureza não esconde seus segredos por
malícia, mas por causa de sua própria
altivez.”**

RESUMO

Este estudo aborda a aplicação da teoria do caos e complexidade à gestão das cadeias de suprimentos. Seu objetivo consiste em responder a questão orientadora da pesquisa, se a teoria do caos e complexidade pode enriquecer o entendimento e compreensão da gestão das cadeias de suprimentos. A fim de contextualizar essa discussão, este trabalho procurou resgatar alguns dos principais autores e conceitos do processo de mudança da visão do determinismo clássico científico do século XIX para as novas abordagens não determinísticas dos séculos XX e XXI, em especial o surgimento e consolidação da abordagem não linear da teoria do caos e complexidade.

O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, o qual focou uma rede brasileira de franquias empresariais do setor de perfumaria e cosméticos. A análise dos resultados obtidos sugere evidências de que, pelo menos parcialmente, a teoria do caos e complexidade pode sim enriquecer e ser relevante para a compreensão da gestão das cadeias de suprimentos.

ABSTRACT

This study approaches the use of theory of chaos and complexity on supply chain management. It's purpose consists on answering the main research question, whether the theory of chaos and complexity can contribute to enlarge the understanding of supply chain management. In order to contextualize the discussion, the dissertation sake to disclaim the main authors and concepts of the process that changed the 19th century vision of the classic determinism to the 20th and 21st centuries non deterministic approaches with focus on the raise and consolidation of the chaos and complexity theory non linear approach. The research method used was the case study with focus on a Brazilian franchising company of perfumes and cosmetics. The results analysis suggests evidence that, at least in some aspects, theory of chaos and complexity can indeed be relevant to the understanding of supply chain management.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	3
LISTA DE QUADROS.....	4
LISTA DE TABELAS.....	5
LISTA DE GRÁFICOS.....	6
 CAPÍTULO 1.....	 7
1.1 Tema e Definição da Situação Problema.....	7
1.2 Teoria do Caos e Complexidade.....	9
1.3 Objetivos, Método e Justificativas do Estudo.....	11
1.4 Delimitação e Estrutura do Estudo.....	12
 CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	 13
2.1 Antecedentes da Teoria do Caos e Complexidade.....	13
2.2 Críticas ao Determinismo Clássico.....	15
2.2.1 Teorema da Incompletude de Gödel e as Ideias de Turing.....	15
2.2.2 A Mecânica Quântica.....	17
2.2.3 A Filosofia das Ciências do Século XX.....	19
2.3 A Teoria do Caos e Complexidade.....	23
2.3.1 Dependência Hipersensível das Condições Iniciais (Efeito Borboleta).....	24
2.3.2 Atratores Estranhos.....	26
2.3.3 Dinâmica Complexa.....	29
2.3.4 Fractais.....	33
2.4 Aplicações da Teoria do Caos e Complexidade às Cadeias de Suprimentos.....	39
2.4.1 O Efeito Forrester e a Dependência Hipersensível das Condições Iniciais.....	40
2.4.2 Atratores nas Cadeias de Suprimentos.....	42
2.4.3 Dinâmica Complexa nas Cadeias de Suprimentos.....	45
2.4.4 Estruturas Fractais nas Cadeias de Suprimentos.....	46
 CAPÍTULO 3 – MÉTODO DE PESQUISA.....	 49
3.1 Definição do Método de Pesquisa.....	49
3.2 Detalhamento do Método de Pesquisa.....	51
3.2.1 Etapas da Pesquisa.....	54
3.2.1.1 Definição e Planejamento do Estudo.....	54
3.2.1.2 Preparação, Coleta e Análise de Dados.....	56
3.2.1.3 Estratégia de Análise dos Dados.....	57
3.2.2 Confiabilidade e Validade do Estudo.....	58
 CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	 60
4.1 Apresentação do Setor de Franquias.....	60
4.2 Apresentação do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer.....	65
4.3 Apresentação e Caracterização da Rede de Franquias Empresariais L'acqua di Fiori.....	67
4.4 Estrutura Fractal na Rede L'acqua di Fiori.....	73
4.5 Dinâmica Complexa na Rede L'acqua di Fiori	76
4.5.1 Resultados dos Meses de Janeiro.....	79
4.5.2 Resultados dos Meses de Fevereiro.....	80
4.5.3 Resultados dos Meses de Março.....	81

4.5.4 Resultados dos Meses de Abril.....	82
4.5.5 Resultados dos Meses de Maio.....	83
4.5.6 Resultados dos Meses de Junho.....	84
4.5.7 Resultados dos Meses de Julho.....	85
4.5.8 Resultados dos Meses de Agosto.....	86
4.5.9 Resultados dos Meses de Setembro.....	87
4.5.10 Resultados dos Meses de Outubro.....	88
4.5.11 Resultados dos Meses de Novembro.....	89
4.5.12 Resultados dos Meses de Dezembro.....	90
4.5.13 Análise dos Resultados.....	91
4.5.13.1 Períodos de Convergência.....	92
4.5.13.2 Períodos de Dinâmica Complexa.....	94
4.5.13.3 Períodos de Indefinição.....	96
4.5.13.4 Comparação dos Resultados com a Teoria.....	96
4.6 Efeito Borboleta na Rede L'acqua di Fiori.....	98
4.7 Atratores Estranhos na Rede L'acqua di Fiori.....	98
 CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
5.1 Considerações sobre o Método de Pesquisa.....	100
5.2 Considerações sobre os Resultados Obtidos.....	102
5.3 Limitações da Pesquisa e Sugestão para Futuros Estudos.....	104
 REFERÊNCIAS.....	106
 APÊNDICE 1.....	114

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Gráfico de Lorenz.....	25
Ilustração 2 – Atrator Simples.....	27
Ilustração 3 – Atrator de Lorenz em Duas Dimensões.....	28
Ilustração 4 – Atrator de Lorenz em Três Dimensões.....	28
Ilustração 5 – Atrator Estranho.....	29
Ilustração 6 – Dinâmica Complexa – População Estável.....	30
Ilustração 7 – Dinâmica Complexa – População Oscilando entre Dois Valores.....	31
Ilustração 8 – Dinâmica Complexa – População Caótica.....	32
Ilustração 9 – Curva de Koch.....	34
Ilustração 10 – Perímetro de Círculo com Diâmetro de 1.000 km.....	36
Ilustração 11 – Comprimento do Litoral da Grã-Bretanha.....	37
Ilustração 12 – Efeito Forrester.....	41
Ilustração 13 – Modelo da Hélice Dupla de Fine.....	43
Ilustração 14 – Atrator de Fine-Lorenz.....	45
Ilustração 15 – Estrutura Fractal na Rede L’acqua di Fiori.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Progressão da Curva de Koch.....	35
Quadro 2 – Perímetro de Círculo com Diâmetro de 1.000 km.....	36
Quadro 3 – Comprimento do Litoral da Grã-Bretanha.....	37
Quadro 4 – Distribuição de Renda Gaussiana e Fractal.....	38
Quadro 5 – Segmentos do Setor de Franquias.....	63
Quadro 6 – Ramos dos Segmentos do Setor de Franquias.....	64
Quadro 7 – Ranking das Redes de Franquias no Brasil em 2009.....	68
Quadro 8 – Resultados Comparados com a Teoria do Caos.....	97
Quadro 9 – Resumo dos Principais Resultados Obtidos.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Janeiro.....	79
Tabela 2 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Fevereiro.....	80
Tabela 3 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Março.....	81
Tabela 4 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Abril.....	82
Tabela 5 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Maio.....	83
Tabela 6 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Junho.....	84
Tabela 7 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Julho.....	85
Tabela 8 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Agosto.....	86
Tabela 9 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Setembro.....	87
Tabela 10 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Outubro.....	88
Tabela 11 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Novembro.....	89
Tabela 12 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Dezembro.....	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Faturamento do Setor de Franquias no Brasil.....	61
Gráfico 2 – Número de Redes de Franquias no Brasil.....	62
Gráfico 3 – Número de Unidades Franqueadas no Brasil.....	62
Gráfico 4 – Faturamento do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer.....	65
Gráfico 5 – Número de Redes do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer.....	66
Gráfico 6 – Número de Unidades do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer.....	66
Gráfico 7 – Evolução de Unidades da Rede L’acqua di Fiori.....	69
Gráfico 8 – Sazonalidade de Vendas da Rede L’acqua di Fiori.....	77
Gráfico 9 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Janeiro.....	80
Gráfico 10 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Fevereiro.....	81
Gráfico 11 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Março.....	82
Gráfico 12 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Abril.....	83
Gráfico 13 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Maio.....	84
Gráfico 14 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Junho.....	85
Gráfico 15 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Julho.....	86
Gráfico 16 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Agosto.....	87
Gráfico 17 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Setembro.....	88
Gráfico 18 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Outubro.....	89
Gráfico 19 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Novembro.....	90
Gráfico 20 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Dezembro.....	91
Gráfico 21 – Resultados de Convergência.....	94
Gráfico 22 – Resultados de Dinâmica Complexa.....	95
Gráfico 23 – Resultados Indefinidos.....	96

CAPÍTULO 1

1.1 Tema e Definição da Situação Problema

As teorias da administração evoluíram ao longo de sua história, incorporando e adaptando conhecimentos e constructos, tanto das ciências sociais como das ciências naturais. Dessa forma, conforme colocam Bolman e Deal (2003), já no início do século XX, a teoria da administração científica e clássica valeram-se de alguns conceitos da física e da mecânica, para originar modelos administrativos inspirados no funcionamento das máquinas. Morgan (2002) discute a importância dessa contribuição em suas metáforas da organização, no que sintetizou como “a mecanização assume o comando”. Posteriormente a psicologia, a sociologia e a biologia também contribuíram com a teoria da administração pelos modelos orgânicos, os quais consideram a adaptação das organizações ao meio externo. Em fins do século XX, a teoria da administração passou a ter ênfase não somente na organização como unidade de estudo isolada, mas também em seu relacionamento com as outras organizações envolvidas com seus produtos e serviços, posto que tais organizações são de fundamental importância para a competitividade e consequente sobrevivência da empresa.

A abordagem da teoria dos sistemas abertos também contribuiu de forma significativa para essa nova visão sobre a administração. Surgida na década de 1950, tal teoria apregoava a necessidade de se entender as organizações em seu contexto ambiental de relacionamento com outras organizações, como fornecedores responsáveis pelos *inputs* (matérias-primas, por exemplo) e clientes responsáveis pelas compras dos *outputs*, ou seja, de seus serviços ou produtos acabados (HAMPTON, 2002). Contribuíram para essa abordagem diversos autores, entre os quais se destacam Ludwig Von Bertalanffy, o criador do conceito de sistemas na biologia; Herbert Simon, com seu foco no processo decisório de organizações complexas e Charles Churchman com as inter-relações das partes coordenadas de um sistema para atingir uma determinada finalidade (HAMPTON, 2002).

Nesse sentido, Porter (1986) demonstrou, com seu modelo de análise da indústria, a importância dos atores ambientais – fornecedores, clientes, novos entrantes potenciais de mercado, empresas com produtos substitutos – para o grau de competição de uma indústria. Esse conceito ampliado de ambiente competitivo, ou seja, a passagem do

objeto de estudo da organização tomada isoladamente para um conjunto de organizações interdependentes gerou a ideia de cadeia de suprimentos.

Assim, faz-se necessário definir a expressão “cadeia de suprimentos”. Chopra e Meindl (2006, p. 3) definem:

Uma cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente. A cadeia de suprimentos não inclui apenas fabricantes e os fornecedores, mas também transportadoras, depósitos, varejistas e os próprios clientes.

Na definição dos autores, observa-se uma ênfase no conjunto de atores necessários ao atendimento do pedido do cliente. Taylor (2006, p. 322), por outro lado dá maior destaque ao fluxo e à movimentação em sua conceituação de cadeia de suprimentos, a qual, para esse autor é “rede de instalações e rotas de transporte que transformam matérias-primas em produtos acabados e os entregam aos clientes”. O mesmo autor destaca ainda a importância dos fluxos de recursos dentro da cadeia, em especial, dos materiais, das informações e financeiros. Complementarmente a essa visão, Bowersox et al. (2006, p. 21) definem cadeia de suprimentos como: “empresas que colaboram para alavancar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência das operações.” Da mesma forma que Taylor (2006), Bowersox et al. (2006, p. 23) ressaltam a importância dos fluxos críticos na cadeia de suprimentos, os quais seriam os responsáveis pela geração de valor da cadeia.

Desse modo, apesar de não haver uma definição única do conceito de cadeia de suprimentos, observam-se algumas convergências e elementos comuns nas definições. Tais convergências e elementos comuns podem ser resumidos como:

a) *Conjunto de organizações e instalações*: a ideia de “cadeia” é apresentada como um conjunto de organizações e instalações. Chopra e Meindl citam literalmente “fabricantes, fornecedores, transportadoras, depósitos, varejistas e os próprios clientes”, enquanto Taylor coloca como “redes de instalações e rotas de transporte”, e Bowersox et al. descrevem “empresas que colaboram”.

b) *Inter-relações entre as organizações e os clientes*: os autores colocam também convergentemente o elemento das inter-relações nas cadeias de suprimentos. Chopra e Meindl definem como “estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente”, enquanto Taylor cita a questão da transformação das

matérias-primas em produtos acabados e sua entrega aos clientes, e Bowersox et al. exprimem a importância da colaboração, ou seja, uma forma de inter-relação.

c) *A importância dos fluxos de recursos*: as cadeias de suprimentos, conforme discutido, apresentam, como resultado de suas inter-relações, fluxos de recursos, tais como materiais (produtos e serviços), financeiros e de informação (TAYLOR, 2006; BOWERSOX et al., 2006), os quais são considerados, pelos autores, fundamentais para a competitividade das cadeias de suprimentos.

Além desses pontos em convergência, Ballou (2006, p. 29) e Bowersox et al. (2006, p. 21) expõem que são utilizados outros termos como similares a “cadeia de suprimentos”, entre eles: redes de valor, corrente de valor, cadeia de valor e cadeia de demanda. Os acadêmicos citados consideram esses termos sinônimos de cadeias de suprimentos.

Este trabalho não tem a pretensão de discutir a hermenêutica de tais termos, nem tem como escopo a comparação pormenorizada das visões dos diversos autores sobre as nuances e sutilezas que eventualmente possam diferenciar os termos citados. Assim, será adotada ao longo de todo o texto apenas a expressão “cadeia de suprimentos”, a fim de atingir os objetivos desta dissertação.

No contexto deste estudo, o conceito de cadeia de suprimentos será entendido como a junção dos elementos comuns discutidos acima, ou seja, um conjunto de organizações e instalações com relacionamentos entre si e seus clientes, o qual gera fluxos de recursos materiais, financeiros e de informação.

1.2 Teoria do Caos e Complexidade

A teoria do caos e complexidade é oriunda das ciências físicas e biológica e tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento nas últimas duas décadas, entre as quais a administração. Sua construção e seu histórico serão detalhados no capítulo 2 desta dissertação. Nesta seção introdutória, serão discutidas a definição dessa teoria para os objetivos do presente estudo e sua relação com as cadeias de suprimentos.

A teoria do caos e complexidade, segundo Mitchell (2009) é um campo ainda em aberto, multidisciplinar, que tem por objetivo a criação de uma teoria geral dos chamados sistemas complexos. Essa teoria dos sistemas complexos ou teoria do caos e

complexidade é definida pela mesma autora (MITCHELL 2009, p. 15) como: “a teoria que tem por objeto a descrição e a predição dos sistemas que exibem mudanças complexas de comportamento em nível macroscópico, oriundas de ações coletivas de diversos componentes interativos.” (tradução do autor)

A complexidade como teoria científica também é proposta por Morin e Moigne (2000, p. 207) para os quais há a necessidade da criação de um “pensamento complexo” na ciência, em contraposição ao pensamento clássico reducionista. Os autores definem complexidade, ou ainda pensamento complexo como: “o pensamento capaz de reunir (*complexus* – aquilo que é tecido conjuntamente), de contextualizar, de globalizar, mas, ao mesmo tempo, capaz de reconhecer o singular, o individual, o concreto.” (parênteses no original)

Apesar de serem acadêmicos de origens distintas, Morin e Moigne, das ciências sociais e Mitchell, das ciências naturais, observa-se que mesmo para objetos de estudos distintos, a teoria do caos e complexidade possui diversos elementos comuns para esses autores.

Contudo, conforme já colocado, não existe ainda uma “teoria geral da complexidade” (BORGATTI NETO, 2008, p. 7). Essa opinião é compartilhada por Mitchell (2009, p. 96), a qual descreve como, mesmo entre especialistas, há diferentes definições sobre o tema. A autora relata a conferência do Instituto de Santa Fé nos Estados Unidos do ano de 2004 acerca da complexidade, na qual foi solicitado a um painel formado por quarenta especialistas uma definição precisa de complexidade e não se conseguiu chegar a um consenso sobre tal definição. Essa dificuldade deve-se por um lado ao aspecto multidisciplinar do assunto e por outro, ao próprio estágio do desenvolvimento da teoria, que está em construção, de forma análoga, por exemplo, a “matéria escura” e “energia escura” na cosmologia (KAKU, 2009).

A fim de tornar operacional a definição de teoria do caos e complexidade para os objetivos deste estudo, a referida teoria será definida com elementos comuns entre Mitchell (2009) e Morin e Moigne (2000) como a “teoria que estuda os sistemas complexos, ou seja, os sistemas que exibem mudanças complexas de comportamento em nível macroscópico, oriundas de ações coletivas de diversos componentes interativos, com um pensamento global, capaz de contextualizar”.

1.3 Objetivos, Método e Justificativas do Estudo

Como objetivo geral, busca-se estudar a relevância e as aderências das ideias da teoria do caos e complexidade aplicadas às cadeias de suprimentos. Como objetivo específico, visa-se a avaliar a viabilidade de aplicações da teoria do caos e complexidade na gestão das cadeias de suprimentos.

Dessa forma, o problema de pesquisa deste trabalho pode ser resumido na seguinte questão básica: “As ideias e conceitos da teoria do caos e complexidade podem enriquecer o estudo da gestão de cadeias de suprimentos?”

A questão de pesquisa colocada tem por função orientar e direcionar o desenvolvimento do presente estudo e será discutida ao longo de todos os capítulos. Ademais, este trabalho tem sua justificativa em duas vertentes:

1) a relevância que o tema tem adquirido no contexto contemporâneo dos negócios, na medida em que as organizações tornam-se cada vez mais complexas e o ambiente de negócios, mais imprevisível, o que cria condições adequadas à aplicação dos conceitos da teoria do caos e complexidade, conforme defende Anselmo (2005).

2) a literatura acadêmica acerca do tema é profícua na área das ciências naturais, contudo ainda é incipiente na área da administração, conforme demonstra Borgatti Neto (2008). Assim, o presente estudo pode contribuir para ampliar essa literatura acadêmica na administração.

Para atingir os objetivos deste estudo, faz-se necessário um método de pesquisa adequado. Ao estudar-se a teoria do caos e complexidade no âmbito das ciências sociais, Ruelle (1993) defende que o método deve ser qualitativo, posto que nas ciências sociais, ao contrário das ciências naturais, há foco na interpretação e orientação para o processo, algo necessário na medida em que as séries temporais não apenas evoluem, mas mudam, “aprendem”. Morin e Moigne (2000) também apregoam o método qualitativo, visto que este tem ênfase no aprofundamento do estudo, na subjetividade, flexibilidade para a condução da pesquisa e na interpretação, características indispensáveis ao pensamento complexo.

A presente pesquisa, em concordância com os autores citados, adota o método qualitativo do estudo de caso na definição de Yin (2001, p. 32), ou seja, de ser uma

investigação empírica que estuda um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, no qual os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos, como é a situação do estudo das cadeias de suprimentos, sob a ótica de possíveis aplicações da teoria do caos e complexidade. O método aqui empregado será melhor detalhado no capítulo 3.

1.4 Delimitação e estrutura do estudo

Este estudo limita-se, portanto, a uma abordagem qualitativa do tema, visto que as ferramentas matemáticas e estatísticas aplicadas à teoria do caos e complexidade nas ciências naturais não têm se mostrado tão aderentes, quando aplicadas às ciências sociais.

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1, apresentam-se o tema, as definições iniciais, além das questões de pesquisa e suas justificativas. No capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica, bem como as principais ideias e conceitos da teoria do caos e complexidade. A seguir, no terceiro capítulo, é discutido o método de pesquisa utilizado a fim de responder as questões de pesquisa. O capítulo 4 contém os resultados obtidos por meio do método do trabalho. Finalmente, o quinto e último capítulo discute considerações finais da pesquisa, limitações do estudo, além de sugestões para trabalhos futuros. Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo busca, em um esforço de síntese, criar um arcabouço teórico que fundamente e oriente esta pesquisa. Para tanto, apresentam-se o histórico da teoria do caos e complexidade, bem como seus principais conceitos e ideias. Na sequência, analisa-se como essas ideias e conceitos podem ser úteis à gestão das cadeias de suprimentos, proposições essas que serão a base da pesquisa de campo deste estudo.

2.1 Antecedentes da Teoria do Caos e Complexidade

A fim de compreender-se o desenvolvimento da teoria do caos e complexidade, faz-se necessário entender a visão de ciência do século XIX, bem como algumas das críticas a essa visão, no século XX e rompimentos com ela. Essa mudança de ponto de vista pode ser melhor compreendida à luz do conceito de paradigma de Kuhn (2003, p. 30). Para esse autor, paradigma refere-se a todas as realizações científicas que partilham de duas características comuns, nas palavras do próprio autor:

[...] Suas realizações foram suficientemente sem precedentes para atrair um grupo duradouro de partidários, afastando-os de outras formas de atividade científica dissimilares. Simultaneamente, suas realizações eram suficientemente abertas para deixar toda a espécie de problemas para serem resolvidos pelo grupo redefinido de praticantes da ciência. Daqui por diante deverei referir-me às realizações que partilham essas duas características como paradigmas.

Pela concepção de paradigma de Kuhn, pode-se entender a ciência do século XIX como um período de vasto desenvolvimento e realizações, acarretando grande otimismo dos cientistas da época (ANDERY et al., 2004). Tais realizações, em uma síntese contemporânea, em especial nas ciências naturais, fruto das contribuições anteriores de Galileu, Descartes, Bacon, Locke, Newton, Lavoisier, Darwin, entre outros, permitiram que muitos fenômenos fossem explicados e preditos de forma correta pela ciência, na química, física e astronomia, corroborando o otimismo dos cientistas. Nesse contexto histórico de sucesso das teorias preditivas clássicas, o otimismo foi tão exacerbado, que o matemático Pierre Simon de Laplace chegou a afirmar que (RUELLE, 1993, p. 42):

Um intelecto que, num momento dado qualquer, conhecesse todas as forças que animam a Natureza e as posições mútuas dos seres que a compõem, se este intelecto fosse vasto o suficiente para submeter seus dados à análise, seria capaz numa única fórmula o movimento dos maiores corpos do universo e o do menor dos átomos: para tal intelecto nada poderia ser incerto; e tanto o futuro quanto o passado estariam diante de seus olhos.

A técnica científica de Newton e outros aparentava resolver todos os problemas em todos os campos. A ciência parecia não ter limites e caminhar rapidamente para uma solução final da questão do conhecimento humano. Conforme observa Stewart (2002, p.18):

O que devemos imaginar, ao considerarmos afirmações como a de Laplace, é o clima de alvoroço que predominava nas ciências daquele tempo, na medida em que um fenômeno após o outro – mecânica, calor, ondas, som, luz, magnetismo, eletricidade – era submetido a controle mediante a mesmíssima técnica. Devia-se ter a impressão de uma grande investida rumo à verdade final. Aquilo funcionava. Nascia o paradigma do determinismo clássico: se as equações estabelecem a evolução dos sistemas de uma maneira única, sem nenhuma influência externa aleatória, então seu comportamento está especificado de maneira única para todos os tempos. (tradução do autor)

Dessa forma, a visão clássica da ciência apregoava o determinismo como forma e método, criando-se uma maneira de pensar dominante nos meios acadêmicos. Essa visão, contudo, passou a ser criticada e contestada no século XX, culminando em outras formas de pensar, entre as quais destaca-se a teoria do caos e complexidade.

Um dos primeiros críticos do determinismo foi o matemático e físico francês Henri Poincaré (STEWART, 2002). Esse pensador ocupou-se de um problema de mecânica newtoniana clássica, o de calcular o estado de equilíbrio de três corpos celestes em mútua atração gravitacional. O mesmo problema com apenas dois corpos, por exemplo, o Sol e a Terra já fora resolvido de forma absolutamente satisfatória do ponto de vista da teoria clássica, ou seja, chegou-se a um estado estacionário, no qual, o modelo previa que se existissem apenas a Terra e o Sol, haveria um equilíbrio na forma gravitacional de tal ordem que se repetiriam ciclos anuais de translação, tal como efetivamente é observado. Ao aplicar-se o mesmo problema e método, porém a três corpos celestes com mútua atração gravitacional, Poincaré demonstrou que haveria diversas soluções possíveis, nenhuma das quais estacionária, tal como no caso dos dois corpos. Poincaré descobrira uma solução inesperada, que contradizia o paradigma existente (STEWART, 2002). Contudo, conforme discute Kuhn (2003), as revoluções científicas necessitam de certo volume considerável de evidências contrárias ao paradigma dominante e de cientistas dispostos a enfrentar o *status quo* para se consolidarem. Em uma observação retrospectiva, tais condições ainda não existiam a fim de abalar o paradigma determinista clássico, havia a necessidade de outras críticas e pontos falhos que só foram colocados em meados do século XX. A ruptura de um paradigma, segundo Kuhn (2003), é um processo para o qual diversas pessoas-chave e

áreas interagem e contribuem de forma dinâmica, com avanços e retrocessos, até que por fim a comunidade científica passa a ver mais méritos no novo paradigma que no antigo, validando-o. No caso da mudança do determinismo clássico, diversas foram as pessoas-chave, tais como Poincaré, os matemáticos e lógicos Kurt Gödel e Alan Turing, os físicos Albert Einstein, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, além dos filósofos da ciência como Karl Popper, Paul Feyerabend e Ilya Prigogine. Esses autores serão brevemente explorados a seguir, sem a pretensão de um estudo exaustivo de suas contribuições, mas com a exposição de algumas de suas ideias, que foram fundamentais para o surgimento da teoria do caos e complexidade.

2.2 Críticas ao Determinismo Clássico

A primeira metade do século XX apresentou contribuições científicas que colocaram em dúvida o método determinista clássico. Sem aspirar esgotar o assunto, pelo menos três grandes áreas tiveram impacto nessa mudança (MITCHELL, 2009; PRIGOGINE, 1996; STEWART, 2002):

- a lógica e matemática com o Teorema da Incompletude de Gödel e as ideias de Turing;
- a física, em especial a mecânica quântica, com as contribuições iniciais de Einstein e Bohr, além do Teorema da Incerteza de Heisenberg e as funções de onda de Schrödinger;
- a filosofia das ciências, com novos postulados em relação ao positivismo, em especial as ideias de Popper, Feyerabend e Prigogine.

Esse conjunto de contribuições, de diversas áreas – matemática, lógica, física e filosofia – criou as evidências em contrário e os cientistas dispostos a enfrentar o *status quo* que Kuhn (2003) coloca como fundamentais para a mudança de paradigma.

2.2.1 Teorema da Incompletude de Gödel e as Ideias de Turing

A fim de compreenderem-se as contribuições de Gödel e Turing, faz-se necessário examinar os questionamentos realizados pelo matemático alemão David Hilbert, o qual pretendia estudar os limites ou a falta de limites da matemática e da lógica (MITCHELL, 2009, p. 57). Como descreve a autora citada, Hilbert formulou 23

questionamentos matemáticos no Congresso Internacional de Matemática de 1900 em Paris, os quais, para ele, seriam as grandes perguntas a serem desvendadas no século XX. Mitchell (2009, p. 58) resume essas 23 questões em três grandes temas de discussão:

a) A matemática é completa? Pelo conceito de completa, entende-se que todo e qualquer teorema matemático pode ser provado verdadeiro ou falso com um número finito de axiomas;

b) A matemática é consistente? Pelo conceito de consistente, entende-se que somente teoremas verdadeiros podem ser provados verdadeiros, os teoremas falsos necessariamente não podem ser provados.

c) Todo teorema matemático pode ser decidido? Entende-se por ser decidido, estabelecer um procedimento que, a um tempo finito, provará se o teorema é verdadeiro ou falso.

As questões ficaram em aberto por três décadas, com Hilbert expressando sua confiança de que as respostas para as três questões seriam positivas. Contudo, suas previsões foram frustradas por Gödel e Turing.

No ano de 1930, Gödel respondeu as duas primeiras questões de Hilbert, resumidas por Mitchell (2009), ou seja, se a matemática seria completa e consistente. Utilizando-se da aritmética Gödel provou que se a aritmética for consistente, haverá necessariamente teoremas verdadeiros que não poderão ser provados, conseqüentemente esta será incompleta. Essa é a ideia central do chamado Teorema da Incompletude de Gödel (MITCHELL, 2009; RUELLE, 1993).

A fim de tornar mais simples a prova dessa questão, sem utilizar-se do ferramental matemático e lógico formal de Gödel, Mitchell (2009, p. 60) propõe o uso de uma metáfora, segundo a qual o teorema aritmético poderia ser entendido como um teorema em linguagem coloquial, denominado a seguir de teorema A:

Teorema A: “Este teorema não pode ser provado”.

Se o teorema A efetivamente puder ser provado, ele será falso, visto que justamente alega o contrário. A aritmética seria inconsistente, visto que foi provado um teorema falso. Por outro lado, se o teorema A não puder ser provado, a aritmética será consistente, porém incompleta, posto que não foi possível provar um teorema verdadeiro. Assim, a aritmética seria necessariamente inconsistente ou incompleta.

Essas conclusões mudaram a forma de enxergar a matemática, estabelecendo limites a seu poder explicativo e sua lógica intrínseca. Ruelle (1993, p. 197) comenta essa nova visão da matemática da seguinte forma:

Em nossa compreensão dos fundamentos das matemáticas, o teorema de Gödel desempenhou um papel central. No começo, o choque foi rude. Depois houve uma mudança progressiva nos sistemas de crenças dos matemáticos [...] Assim, a descoberta do Teorema de Incompletude progressivamente mudou a paisagem matemática.

De acordo com Mitchell (2009), em 1935, com argumentos similares aos de Gödel, porém aplicados à computação, Turing provou a terceira questão de Hilbert, ou seja, se todo teorema matemático pode ser decidido, também possui uma resposta negativa, analogamente ao Teorema de Gödel. Assim as demonstrações complementares de Gödel e Turing impuseram limites à matemática, algo que se acreditava anteriormente não existir. Acerca de tal mudança de visão da abrangência e capacidade preditiva da matemática, Mitchell (2009, p. 68) comenta:

O século XIX foi um tempo de crença em que a matemática e a ciência possuíam possibilidades infinitas de desenvolvimento. [...] Em contraste com tal ideia, as descobertas matemáticas e físicas do início e meados do século XX provaram que tais infinitas possibilidades de fato não existem. Da mesma forma que a Mecânica Quântica e a Teoria do Caos em conjunto demoliram a esperança de previsões perfeitas, os resultados de Gödel e Turing demoliram a esperança de poder ilimitado para a matemática e a computação. (tradução do autor)

Dessa forma, com Gödel e Turing, lógica e matemática passaram a ter limites, o que abriu caminho para as críticas ao determinismo clássico, complementadas por críticas advindas da física e da filosofia das ciências.

2.2.2 A Mecânica Quântica

De forma análoga à matemática, no século XIX, a física vivia um momento de grandes descobertas e crença de que não haveria limites para suas realizações. Nas primeiras décadas do século XX, contudo, com o desenvolvimento da teoria do átomo por Bohr, ficou claro que a mecânica clássica de Newton não se aplicava a esse universo microscópico. Os átomos não obedeciam às três leis de Newton, nem se encaixavam nas

aplicações tradicionais da mecânica (STRATHERN, 1999). Dessa forma, fazia-se necessária uma nova mecânica a ser aplicada a fenômenos que ocorrem em nível atômico, batizada de mecânica quântica.

O desenvolvimento da mecânica quântica gerou uma teoria bastante diferente da mecânica clássica de Newton, em diversos aspectos (KAKU, 2000). Pode-se apontar pelo menos duas rupturas da mecânica quântica em relação à mecânica clássica.

A primeira ruptura é o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o qual postula que não é possível, nem em princípio, estabelecer a velocidade e a posição de uma partícula com absoluta precisão. Nesse contexto, uma maior precisão na mensuração da velocidade implicará necessariamente uma menor precisão na mensuração da posição e vice-versa. Assim, torna-se impossível determinar com precisão absoluta, tal qual na mecânica clássica, o estado de uma partícula, entendido como combinação de velocidade e posição. Há uma incerteza quanto a esse estado (GREENE, 2001).

A segunda ruptura, que é de certa forma complementar à primeira, é a função de onda de Schrödinger. Na mecânica clássica, conhecendo-se a posição inicial, a velocidade e a direção das forças que atuam sobre um objeto, é possível, de forma única e inequívoca, determinar sua trajetória. Segundo Strathern (1999), o mesmo não ocorre com a mecânica quântica, devido ao Princípio da Incerteza de Heisenberg. Assim, Schrödinger, em vez de propor uma trajetória única, propôs um conjunto de estados possíveis, uma função de onda, ou seja, diversas combinações de velocidade e posição as quais seriam possíveis a partir dos dados iniciais, estabelecendo, portanto, uma função de probabilidades de ocorrência de estados, a qual denominou de função de onda. Isaacson (2008, p. 464) assim descreve o modelo de Schrödinger:

No domínio quântico, não há uma localização definida de uma partícula, tal como um elétron, em nenhum momento determinado. Em vez disso, uma função matemática, conhecida como função de onda, descreve a *probabilidade* de se encontrar aquela partícula em determinado lugar. (itálico no original)

Dessa forma, a mecânica quântica estabeleceu uma limitação à capacidade de predição da teoria. As implicações da mecânica quântica ainda nos dias atuais são motivo de discussões acadêmicas. Albert Einstein inclusive descreveu sua insatisfação com essas implicações com a frase “Deus não joga dados”, demonstrando seu aborrecimento com a função de onda e as probabilidades em lugar do determinismo clássico. Apesar das críticas de Einstein e seus seguidores, a interpretação mais aceita nos meios científicos da mecânica quântica é conhecida como a interpretação de

Copenhague, em homenagem à cidade onde concentravam-se os pesquisadores pioneiros dessa teoria, em especial, Niels Bohr (KAKU, 2000). De acordo com Isaacson (2008, p. 465):

Segundo a interpretação de Copenhague desenvolvida por Niels Bohr e seus colegas – os pioneiros da mecânica quântica –, até que se faça a observação, a realidade da posição ou do estado da partícula consiste apenas de probabilidades. Ao medir ou observar o sistema, o observador faz com que a função de onda colapse e uma posição ou estado definido fique determinado.

A mecânica quântica, assim, trouxe limitações às predições do determinismo clássico ao âmbito da física, da mesma forma que as ideias de Gödel e Turing trouxeram essas mesmas limitações à matemática.

2.2.3 A Filosofia das Ciências do Século XX

A ciência esteve sempre ligada à filosofia, desde a Grécia Antiga, tendo se separado com Galileu no século XVII, o qual introduziu o foco científico na experimentação e matematização, afastando a ciência da filosofia (ARANHA e MARTINS, 1992, p. 202).

A filosofia das ciências estabeleceu-se, então, como ramo da filosofia dedicado ao estudo crítico da ciência e seu método. Aranha e Martins (1992, p. 204) descrevem sua visão do papel da filosofia das ciências da seguinte forma:

A filosofia encontra-se na verdade como pressuposto da ciência, que se recusa a investigar seus próprios fundamentos. Assim, cabe à filosofia descobrir o conceito de homem subjacente a cada ciência. [...] Por isso a reflexão empreendida pela filosofia não pode ser neutra, desinteressada, nem uma ocupação separada do que ocorre no mundo. Ela tem um compromisso com a investigação a propósito dos fins e das prioridades a que a ciência se propõe, bem como com a análise das condições em que se realizam as pesquisas e das consequências das técnicas utilizadas.

Nesse contexto, a filosofia busca compreender a ciência, criticar seu método, determinar sua validade e eficácia, entender o conhecimento científico em suas realizações e limitações.

A fim de compreender-se a filosofia das ciências no século XX, faz-se necessário compreender sua evolução desde o século XIX, em especial a respeito do positivismo.

No século XIX, surgiu a escola de pensamento filosófico sobre a ciência conhecida como positivismo, tendo como seu maior representante Auguste Comte. Essa escola de pensamento influenciou fortemente a forma de enxergar a ciência no século

XIX, e mesmo criticada em diversos aspectos no século XX, ainda possui uma considerável influência nos meios acadêmicos e científicos até os dias atuais (ARANHA e MARTINS, 1992).

O positivismo tem como pressuposto básico o cientificismo, ou seja, o conhecimento científico como a forma última e perfeita de conhecimento humano. Dessa forma, o determinismo clássico possui um papel central, visto que a ciência como forma máxima de conhecimento humano, na ótica positivista, teria como missão descobrir e compilar as leis da natureza, as quais seriam precisas e invariáveis, levando ao determinismo clássico. Essa é a visão de Auguste Comte acerca do papel da ciência, de acordo com Andery et al. (2004, p. 382):

O conhecimento científico positivo, que estabelece as leis que regem os fenômenos de forma a refletir o modo como tais leis operam na natureza, tem para Comte, ainda duas características: é um conhecimento sempre certo, não se admitindo conjecturas, e é um conhecimento que tem sempre um certo grau de precisão. [...] Assim, Comte reforça a noção de que o conhecimento científico é um conhecimento que não admite dúvidas e indeterminações.

A filosofia positiva extrapolava, em seu contexto histórico, a visão otimista dos cientistas do século XIX, para os quais, conforme já discutido anteriormente, a ciência não teria limitações. Esse otimismo no âmbito da filosofia das ciências, contudo, foi criticado no século XX por diversos pensadores, entre eles destacaram-se Karl Popper, Paul Feyerabend e Ilya Prigogine.

Popper (2004, p. 27) critica o positivismo demonstrando que as supostas “leis universais que não admitem dúvidas e indeterminações” estão calcadas em um fundamento metodológico falho em sua visão, a indução. A indução, ainda de acordo com o autor, é o método de inferir, de conduzir enunciados singulares, tais como descrições dos resultados de observações ou experimentos, para enunciados universais, tais como hipóteses ou teorias. Segundo o próprio Popper (2004, p. 28):

Segundo concepção amplamente aceita – a ser contestada neste livro – as ciências empíricas caracterizam-se pelo fato de empregarem os chamados “métodos indutivos”. De acordo com essa maneira de ver, a lógica da pesquisa científica se identificaria com a lógica desses métodos indutivos. [...] Ora, está longe de ser óbvio, de um ponto de vista lógico, haver justificativa no inferir enunciados universais de enunciados singulares, independentemente de quão numerosos sejam estes; com efeito, qualquer conclusão colhida desse modo pode revelar-se falsa: independentemente de quantos casos de cisnes brancos possamos observar, isso não justifica a conclusão de que *todos* os cisnes são brancos. (parênteses e itálico no original)

Ao criticar a indução como método científico, Popper alude ao fato de que as leis que “não admitem dúvidas” na visão positivista, na verdade não podem ser

provas. Mesmo que existam muitos casos verdadeiros, sempre há a possibilidade de se encontrar um caso falso, refutando a “lei universal”. O filósofo cita o exemplo dos cisnes. Até o povoamento da Austrália, acreditava-se que todos os cisnes eram brancos, por indução, visto que nunca se havia encontrado um cisne que assim não o fosse. Apesar dos milhares de casos de cisnes brancos na Europa, encontraram-se cisnes negros na Austrália, o que refutou a teoria do cisne branco universal. Com esse exemplo, Popper ilustra seu argumento de que as teorias científicas jamais podem ser provadas com base em experimentos ou observações, conforme prega o positivismo, independentemente de quão numerosos sejam os casos verdadeiros. O máximo que se pode conseguir nessa visão é refutar a teoria, sendo essa sua proposta, em vez de tentar provar-se uma hipótese ou teoria, tentar falseá-la. Popper (2004, p. 34), a respeito da limitação da validade das leis científicas, comenta que:

importa acentuar que uma decisão positiva só pode proporcionar alicerce temporário à teoria, pois subseqüentes decisões negativas sempre poderão constituir-se motivo para rejeitá-la. Na medida em que a teoria resista a provas pormenorizadas e severas, e não seja suplantada por outra, no curso do progresso científico, podemos apenas dizer que ela “comprovou a sua qualidade” ou foi “corroborada” pela experiência passada. (parênteses no original)

Desse modo, Popper traz ao âmbito da filosofia das ciências a dúvida quanto à validade universal do conhecimento pelo método da indução, demonstrando uma limitação lógico-filosófica da visão da ciência positivista clássica.

Complementarmente à crítica de Popper quanto à impossibilidade de provas definitivas na ciência, Feyerabend (2007) critica o próprio método científico em si. Para esse autor, a visão positivista de um método científico único para todas as ciências, que não admite dúvidas ou indeterminações, não tem fundamento na própria história da ciência. Feyerabend (2007, p. 42) ao dissertar sobre o tema, expõe que:

está claro, então, que a ideia de um método fixo ou de uma teoria fixa da racionalidade baseia-se em uma concepção demasiado ingênua do homem e de suas circunstâncias sociais. Para os que examinam o rico material fornecido pela história e não têm a intenção de empobrecê-lo a fim de agradar a seus baixos instintos, a seu anseio por segurança intelectual na forma de clareza, precisão, “objetividade” e “verdade”, ficará claro que há apenas um princípio que pode ser defendido em todas as circunstâncias e em todos os estágios do desenvolvimento humano, é o princípio de que *vale tudo*. (parênteses e itálico no original)

Assim, Feyerabend defende a pluralidade do método científico em contraposição ao método único positivista, argumentando que este serve mais como uma forma de pseudo-objetividade e pseudoclaridade, mas não tem correspondência na história da ciência. Fica, dessa forma, também aberto o caminho para graus de indeterminismo no

âmbito da própria ciência com o seu princípio de que “vale tudo”, em contraposição ao determinismo clássico positivista. Nesse sentido, Feyerabend alinha-se a Popper ao criticar o determinismo clássico positivista como uma idealização demasiado ingênua do método científico e que apresenta problemas, inclusive lógicos, como a crítica à indução, para que haja sua primazia na filosofia das ciências, como pregava o positivismo.

Além de Popper e Feyerabend, Ilya Prigogine é outro autor a ser destacado na história da filosofia das ciências do século XX. Prigogine, diferentemente de Popper e Feyerabend, que se dedicaram principalmente à filosofia, além de filósofo da ciência, também foi pesquisador como químico, ganhando inclusive o Prêmio Nobel de Química em 1978 (SORMAN, 1989).

Prigogine também critica o determinismo clássico. Para ele, existem dois tipos de sistemas: os estáveis e os instáveis, sendo que estes últimos são a regra na natureza, e não a exceção, ao contrário do que pensavam os positivistas. Assim escreve Prigogine (1996, p. 12) a esse respeito:

A ciência clássica privilegiava a ordem, a estabilidade, ao passo que em todos os níveis de observação, reconhecemos agora o papel primordial das flutuações e da instabilidade. Associadas a essas noções aparecem também as escolhas múltiplas e os horizontes de previsibilidade limitada.

Além da separação entre sistemas estáveis e instáveis, o autor identifica que, na verdade, são os sistemas instáveis que são os relevantes na ciência, posto que estes refletem a natureza mais subjacente dos fenômenos, enquanto que, em geral, os sistemas estáveis são construções idealizadas da mente humana, com pouca correspondência na natureza. De acordo com o próprio Prigogine (1996, p. 57):

Se o nosso mundo devesse ser compreendido por meio do modelo dos sistemas dinâmicos estáveis, não teria nada em comum com o mundo que nos cerca: seria um mundo estável e previsível, mas não estaríamos lá para formular as previsões. No mundo que é o nosso, descobrimos em todos os níveis flutuações, bifurcações, instabilidade. Os sistemas estáveis que levam a certezas correspondem a idealizações, a aproximações.

O Prêmio Nobel desse autor foi inclusive concedido por seus estudos químicos acerca de sistemas instáveis, denominados estruturas dissipativas, ciência esta na qual o autor baseia a sua filosofia das ciências.

Em uma síntese dos trabalhos de Popper, Feyerabend e Prigogine, observa-se uma mudança na postura da filosofia das ciências no século XX semelhante às novas visões surgidas na física, com a mecânica quântica e na matemática, com Gödel e

Turing, as quais romperam com o determinismo clássico positivista em prol de uma abordagem mais pluralista.

2.3 A Teoria do Caos e Complexidade

A Teoria do Caos e Complexidade é herdeira das críticas ao determinismo clássico positivista e das mudanças discutidas anteriormente na matemática, lógica, física e filosofia das ciências. Poincaré já havia tido um prelúdio de algumas características dessa teoria no final do século XIX, contudo foi necessária toda essa mudança conceitual e paradigmática no sentido de Kuhn (2003), para que as ideias de caos e complexidade formassem um quadro completo (STEWART, 2002).

Como todas as teorias ainda em construção, não existe ainda uma “teoria geral do caos e complexidade”, como coloca Borgatti Neto (2008, p. 6). Para esse autor existem basicamente duas grandes correntes que exploram o tema da complexidade:

- a) uma corrente mais filosófica, subjetiva e ligada à complexidade das relações humanas, a corrente por um pensamento “mais” complexo. Esta é associada às ciências sociais e tem como um de seus maiores expoentes Edgard Morin;
- b) uma corrente mais embasada nas ciências naturais, na matemática e na modelagem computacional, direcionada à formalização científica, a corrente da ciência da complexidade, cujos maiores expoentes são os pesquisadores do Instituto de Santa Fé nos Estados Unidos.

Na verdade, a própria abordagem da complexidade exige a análise do fenômeno por diversos aspectos diferentes. Mitchell (2009), a qual pertence ao Instituto de Santa Fé sendo, portanto, identificada com a corrente mais ligada às ciências naturais, não vê essa dicotomia colocada por Borgatti Neto (2008), afirmando que a ciência da complexidade é construída com a contribuição interdisciplinar de diversas áreas do conhecimento, cada qual estudando diferentes aspectos do mesmo fenômeno, a fim de gerar um quadro completo do sistema.

Para fins desta pesquisa, conforme discutido no capítulo 1, adotar-se-á uma definição operacional acerca da Teoria do Caos e Complexidade que engloba as duas correntes descritas por Borgatti Neto, assim a “teoria que estuda os sistemas complexos,

ou seja, os sistemas que exibem mudanças complexas de comportamento em nível macroscópico oriundas de ações coletivas de diversos componentes interativos, com um pensamento global, capaz de contextualizar”.

A teoria do caos e complexidade, apesar de ser ainda uma teoria em construção, apresenta alguns conceitos e modelos para sistemas complexos já desenvolvidos. Tais conceitos e modelos têm sido incorporados tanto pelas ciências naturais, quanto pelas ciências sociais, justamente por sua abordagem multidisciplinar. A seguir, serão discutidos alguns desses conceitos e modelos.

2.3.1 Dependência Hipersensível das Condições Iniciais (Efeito Borboleta)

A dependência hipersensível das condições iniciais em um sistema complexo, também conhecida como “efeito borboleta” provavelmente é o conceito da teoria do caos e complexidade mais difundido e conhecido.

O pioneiro a identificar essa dependência hipersensível foi o meteorologista com forte base matemática, Edward Lorenz, na década de 1960 (GLEICK, 2008; MITCHELL, 2009).

A previsão do tempo, teoricamente, deveria ser bastante precisa, uma vez que são bem conhecidas dos físicos e meteorologistas as variáveis que determinam o clima: pressão, temperatura, umidade, ventos. Contudo, as previsões meteorológicas historicamente não são confiáveis, incorrem em grandes erros, em especial para prazos mais longos. A princípio, não havia técnicas adequadas para medir as variáveis meteorológicas e esta era considerada a causa dos fracassos das previsões. Contudo, a partir de década de 1960, com os satélites meteorológicos e os primeiros computadores, passaram a existir as ferramentas necessárias para a previsão do tempo: capacidade de medir as variáveis em nível global com os satélites e capacidade de processar essas informações com os computadores. Ainda assim, as previsões continuaram com grandes erros, em especial no longo prazo, e os cientistas ficavam perplexos com tal situação, visto que apesar de dados razoavelmente precisos e capacidade para processá-los, os modelos continuavam não fornecendo previsões confiáveis. Em relação a longos períodos, as previsões não passavam de meras probabilidades e com variações aleatórias.

De acordo com Gleick (2008, p. 13), Lorenz foi um dos pioneiros a utilizar computadores e modelos matemáticos, para simular a atmosfera terrestre e tentar prever

o tempo. Esse modelo inicial era muito simples, com apenas 12 equações e não conseguia simular furacões, tempestades, nevascas, o clima terrestre no modelo se comportava de forma bastante suave. Lorenz criou um tipo de gráfico primitivo, para imprimir os resultados obtidos pelo modelo. Em uma de suas simulações, algo muito estranho aconteceu: dada a velocidade de processamento muito lenta, e Lorenz precisando refazer uma simulação, tomou um atalho e digitou manualmente a sequência numérica para dar as condições iniciais da experiência. Os resultados gráficos foram perturbadores para o cientista, pois após alguns períodos, a linha do novo experimento começava a se distanciar da antiga e no longo prazo suas sequências eram absolutamente diferentes (Ilustração 1).

Ilustração 1 – Gráfico de Lorenz

Fonte: adaptada de Gleick (2008, p. 15)

A princípio, Lorenz supôs que o computador estivesse com problemas ou que houvesse digitado os dados de forma incorreta. Na verdade, Lorenz havia digitado os números desprezando a quarta casa decimal, ou seja, um erro em dez mil. Essa foi a semente do que posteriormente se denominou como forte dependência das condições iniciais ou simplesmente efeito borboleta.

Lorenz havia descoberto que pequenos erros de medição de temperatura, pressão ou umidade em sua interação dinâmica na atmosfera provocam grandes variações no clima no longo prazo que não são captadas pelos modelos de previsão. Esse é o motivo que explica o resultado obtido por Lorenz em sua experiência, ou seja, mesmo uma pequena modificação nas condições iniciais do sistema complexo, no caso de sua experiência uma diferença de apenas um em dez mil, é potencializada e amplificada na interação das variáveis e provoca diferenças no curto prazo, representadas na primeira

metade da Ilustração 1 e mudanças completas no longo prazo, representadas na segunda metade da mesma ilustração.

Esse efeito ficou conhecido como dependência hipersensível das condições iniciais ou efeito borboleta. O termo “efeito borboleta” foi originado pelo próprio Lorenz na palestra que concedeu à Associação Americana para o Avanço da Ciência em 1972, na qual o título era a pergunta: “Será que o bater de asas de uma borboleta no Brasil pode gerar um tornado no Texas?” (NATURE, 2008). Essa imagem do efeito borboleta capta a essência do conceito, ou seja, em sistemas complexos, pequenas variações iniciais potencializam-se ao longo do tempo e causam grandes mudanças no longo prazo.

Dessa forma, conforme coloca Mitchell (2009), pensava-se que os modelos de previsão poderiam, pelo menos teoricamente, prever o comportamento de um sistema. O que ficou demonstrado após Lorenz e seus seguidores é que quando se trata de sistemas complexos, o efeito borboleta impede, mesmo apenas teoricamente, a previsão do comportamento do sistema no longo prazo. Previsões em sistemas complexos têm alguma acuidade apenas no curto prazo.

2.3.2 Atratores Estranhos

A ideia de atratores não é exclusiva da teoria do caos e complexidade, tendo surgido com a geometrização, ou seja, como coloca Ruelle (1993, p. 79) “a geometrização trata-se da representação desta ou daquela classe de objetos matemáticos como pontos de um espaço”.

Existem diversos exemplos simples de geometrização, em especial utilizando-se os eixos cartesianos. Uma equação de primeiro grau pode ser geometrizada como uma reta em eixos cartesianos. Similarmente, uma equação de segundo grau, como uma parábola. Essas formas geométricas permitem um entendimento visual do comportamento das equações.

Nesse contexto, atratores são pontos ou regiões do espaço geométrico para os quais as representações gráficas convergem ou giram em sua volta, “atraindo” o gráfico, daí o nome “atrator”.

O movimento de um pêndulo simples com atrito pode ser representado como um atrator (Ilustração 2).

Ilustração 2 – Atrator Simples

Fonte: adaptada de Stewart (2002, p. 87)

O pêndulo oscila da esquerda para a direita regularmente, contudo sua energia cinética, ou seja, a energia do movimento, é gradualmente dissipada pelo atrito, assim suas oscilações são cada vez menores, até o fim da energia, quando chega ao estado de repouso. Esse comportamento pode ser descrito geometricamente (parte direita da ilustração) com os eixos x e y . Os círculos representam as oscilações do pêndulo, que vão regularmente diminuindo com a dissipação da energia pelo atrito, até no final, chegar a um estado de repouso na intersecção dos eixos x e y . Esse ponto é um atrator simples, pois o movimento converge clara e inequivocadamente para ele.

A contribuição da teoria do caos e complexidade para esse debate de geometrização foi a descoberta do que ficou conhecido como “atrator estranho”. Esse termo foi cunhado por David Ruelle e Floris Takens em 1971, tendo por objetivo explicitar que nem todos os atratores com os quais trabalhava a física eram atratores simples, havia comportamentos bem mais complexos que pontos ou ciclos periódicos, os chamados atratores simples (GLEICK 2008, p. 134).

Os atratores estranhos são definidos por seu próprio criador Ruelle (1993, p. 88) como possuindo três características marcantes:

Em primeiro lugar os atratores estranhos têm um ar estranho: não são curvas ou superfícies lisas, mas objetos de *dimensão não inteira*. Em segundo lugar, e isto é o mais importante, o movimento sobre o atrator estranho apresenta o fenômeno de *dependência hipersensível das condições iniciais*. Finalmente, embora os atratores estranhos sejam de dimensão finita, a análise em termos de frequências temporais revela um *contínuo de frequências*. (itálico no original)

O atrator estranho, assim, comporta-se de forma bem mais complexa que pontos ou círculos, posto que está sujeito à dependência hipersensível das condições iniciais, o efeito borboleta descrito por Lorenz. Esse próprio autor criou o chamado atrator de Lorenz ao descrever geometricamente a evolução de seu modelo meteorológico (Ilustrações 3 e 4).

Ilustração 3 – Atrator de Lorenz em duas dimensões

Fonte: adaptada de Stewart (2002, p. 153)

Ilustração 4 – Atrator de Lorenz em três dimensões

Fonte: adaptada de Gleick (2008, p. 25)

Os atratores estranhos fornecem, dessa forma, uma ferramenta geométrica para o entendimento da evolução de um sistema complexo no tempo. Os “cortes” transversais nos atratores estranhos demonstram o estado do sistema complexo em determinado período do tempo (Ilustração 5).

Ilustração 5 – Atrator estranho

Fonte: <http://www.docentes.if.ufg.br/.../29_caos/caos2.html>

Assim, os atratores estranhos servem como uma espécie de “mapa” para a evolução temporal de um sistema complexo, permitindo seu entendimento mais profundo. A teoria do caos e complexidade proporcionou um passo adicional na geometrização ao introduzir a ideia de figuras diferentes de pontos e círculos como atratores.

2.3.3 Dinâmica Complexa

A teoria do caos e complexidade recebeu uma contribuição significativa do biólogo e matemático Robert May, o qual se questionou, na década de 1970, como modelos matemáticos determinísticos simples poderiam levar a uma dinâmica complexa (MAY, 1976). Nesse estudo, também citado por Gleick (2008, p. 59) e Mitchell (2009,

p. 28), Robert May lidava com o fenômeno de crescimento e decréscimo de populações animais. A fim de demonstrar suas conclusões, adotou a seguinte equação determinística:

$$X_{\text{prox}} = r X (1 - X)$$

Equação 2.1

Na qual:

X : é a população de um dado período;

X_{prox} : é a população do período seguinte a X ;

r : é a taxa de crescimento populacional.

A equação 2.1 passa por um processo de iteração por diversos períodos, o qual determina sua dinâmica, representando a dinâmica da população estudada. Os resultados obtidos dependem da taxa de crescimento “ r ”. May observou que inicialmente, com a “ r ” em valores relativamente baixos, tal como 2,9, a população se estabilizava após um período de iterações (Ilustração 6).

Ilustração 6 – Dinâmica Complexa – População Estável

Fonte: adaptada de Gleick (2008) e Mitchell (2009)

Dessa forma, com a taxa de crescimento “ r ” no valor relativamente abaixo de 2,9, a população entra em um estado de equilíbrio, estabilizando-se no valor de 0,6552. Fazendo crescer, contudo, o valor de “ r ”, outros resultados podem ser observados. Para uma taxa “ r ” maior, ou seja, uma população com crescimento mais rápido, essa população pode não convergir para um valor, mas oscilar entre dois valores, em um comportamento mais complexo. Adotando o valor 3,1 para a taxa “ r ”, a população oscila de forma periódica entre os valores 0,5580 e 0,7646, fazendo o que Mitchell (2009) denomina de “bifurcação”, ou seja, de um valor (0,6552) passa-se por dois (0,5580 e 0,7646) até o estado de equilíbrio final da população (Ilustração 7).

Ilustração 7 – Dinâmica Complexa – População Oscilando entre Dois Valores

Fonte: adaptada de Gleick (2008) e Mitchell (2009)

Observa-se, portanto, uma mudança de comportamento no estado final da população, ao aumentar-se o valor da taxa “ r ” de 2,9 para 3,1, ou seja, ampliando-se a taxa de crescimento da população, amplia-se também a complexidade de seu comportamento. Ao ampliar-se ainda mais a taxa “ r ” para 4,0, o comportamento da população não mais converge a nenhum valor, tornando-se caótico (Ilustração 8).

Ilustração 8 – Dinâmica Complexa – População Caótica

Fonte: adaptada de Gleick (2008) e Mitchell (2009)

A Ilustração 8 demonstra que a população com alta taxa de crescimento “ r ”, no caso com valor 4,0, não converge, entrando em estado caótico. Outra observação é que se pode notar o fenômeno da dependência hipersensível das condições iniciais manifestando-se quando a população torna-se caótica. Observam-se na Ilustração 8 dois gráficos: o da esquerda construído com a taxa $r = 4,0000$ e o da direita com a taxa $r = 4,0001$, ou seja, a taxa “ r ” entre os dois gráficos possui uma diferença de apenas 0,0001, ou 1 em 10 mil. Mesmo com uma diferença tão pequena, observa-se que após 15 iterações, os valores dos gráficos passam a divergir visivelmente. Este é o mesmo fenômeno descrito por Edward Lorenz nas previsões do tempo, o chamado efeito borboleta, pequenas variações nas condições iniciais (uma em dez mil) provocam mudanças significativas no longo prazo, na ilustração, após 15 períodos de iteração.

Esse trabalho de May coloca em debate também o determinismo clássico, demonstrando que mesmo com equações deterministas simples, pode-se chegar ao caos. Na opinião de May (1976, p. 467), as implicações são tão profundas em nossa visão simplista e determinística do mundo, que se deveria repensar inclusive a forma de ensinar nas escolas, introduzindo a Equação 2.1 e suas conclusões cedo no estudo de matemática.

Esses resultados não ficaram restritos à biologia, sendo extrapolados para outros campos das ciências naturais, como para a física. A turbulência observada no fluxo de um líquido, tal como o fluxo de água de uma torneira ou o correr do curso de um rio podem utilizar-se da mesma lógica descrita para a Equação 2.1, sendo que nesse caso a taxa “ r ” seria a velocidade do fluxo, em vez da taxa de crescimento populacional. A uma velocidade baixa, o fluxo de água de uma torneira torna-se praticamente constante, contudo ao ampliar-se sua velocidade, torna-se caótico. Algo semelhante ocorre com

um rio, em sua nascente com fluxo da água relativamente lento, seu comportamento é bastante previsível, porém com o curso do rio e o aumento da velocidade do fluxo, passa-se a formar corredeiras, redemoinhos, fluxos caóticos. Esses resultados caóticos com fluxos de líquidos foram reproduzidos em laboratório e modelados por Doyne Farmer e Norman Packard (BASS, 2000). O caos e a complexidade podem surgir mesmo em um sistema determinista simples, desde que tal sistema possua interações suficientemente rápidas a ponto de não convergirem.

2.3.4 Fractais

A expressão fractal, desenvolvida originalmente por Benoit Mandelbrot (MITCHELL, 2009, p. 103; GLEICK, 2008, p. 79) tem como base a palavra em latim *fractus* e o verbo *frangere* que significam quebrar em frações.

Os fractais são uma forma geométrica diferente da geometria clássica, também conhecida como geometria euclidiana, a fim de permitir o estudo de objetos complexos, os quais não poderiam ser modelados pela geometria clássica. Assim, segundo Von Wangenheim et al. (2009, p. 3):

A geometria reflete a nossa percepção da natureza, preocupando-se em tornar objetivas as nossas intuições espaciais. A geometria clássica, ou euclidiana, fornece uma primeira aproximação para a estrutura dos objetos físicos. Nesse sentido, os objetos são descritos por meio dos elementos básicos: o ponto, a reta, o plano, ou uma combinação destes. Muitos métodos de representação de objetos tridimensionais são baseados nas formas ideais de Platão (cilindro, esfera e cubos). Muitos padrões naturais exibem irregularidades e complexidades tão grandes que não podem ser adequadamente descritos com a geometria euclidiana “clássica”. Para objetos dessas classes foram criadas “geometrias alternativas”, que utilizam outras estruturas descritivas. De particular interesse, a Geometria Fractal é uma extensão da geometria clássica, fornecendo métodos para avaliar e modelar objetos de extrema complexidade.

A geometria fractal se forma por autossimilaridade. O termo autossimilaridade, de acordo com Mitchell (2009, p. 103), significa “forma geométrica que mantém sua estrutura intrínseca em todas as escalas” (tradução do autor). Mitchell (ibidem) coloca diversos exemplos na natureza de estruturas fractais, entre as quais cita expressamente flocos de neves, árvores, galáxias, *clusters* de galáxias, costas marítimas de países.

Essas estruturas apresentam a propriedade teórica de possuírem comprimento infinito, porém confinado em uma área finita. A fim de ilustrar tal propriedade, Von Wangenheim et al. (2009, p. 5) explicam a estrutura do fractal conhecido como Curva de Koch:

Partindo-se de um segmento de reta de comprimento unitário, divide-se este em três partes, substituindo a parte central por uma espécie de “V” invertido. É fácil verificar que o comprimento da curva resultante, por construção, será quatro terços do comprimento inicial. Cada “lado” da curva pode ser visto como uma versão rotacionada e escalada do segmento inicial, podendo-se aplicar novamente o processo descrito. A cada estágio do processo iterativo, o comprimento aumenta de um fator $4/3$, assim, no estágio “k”, o comprimento total da curva será $L(k) = (4/3)^k$. Ora, repetindo-se indefinidamente o processo, que matematicamente equivale a k tendendo ao infinito, o comprimento tende ao infinito, mas isso sem extrapolar os limites da figura: a curva tende a um comprimento infinito, mas ocupando uma porção finita e bem delimitada do plano. (Ilustração 9)

Ilustração 9 – Curva de Koch

Fonte: adaptada de Von Wangenheim et al. (2009)

A Curva de Koch pode ser gerada utilizando-se de uma equação com autossimilaridade, ou seja, que mantém suas propriedades em todas as escalas. No caso específico dessa curva, a equação seria:

$$\text{Nível } k: L(k) = (4/3)^k$$

Equação 2.2

Assim:

Nível	Fator Fractal	Cálculo (L)	Valor de (L)
0	4/3	$(4/3)^0$	1,00
1	4/3	$(4/3)^1$	1,33
2	4/3	$(4/3)^2$	1,78
3	4/3	$(4/3)^3$	2,37
4	4/3	$(4/3)^4$	3,16
k (infinito)	4/3	$(4/3)^k$	Infinito

Quadro 1 – Progressão da Curva de Koch

Fonte: adaptado de Von Wangenheim et al. (2009) e Mitchell (2009, p. 106)

Assim, a Curva de Koch demonstra a propriedade de autossimilaridade geométrica, a qual pode ser utilizada para objetos complexos, em que se pode criar uma forma geométrica relegada a uma área finita, mas com comprimento dos lados infinitos, como colocado no Quadro 1, conforme aumenta-se o nível, também denominado dimensão, amplia-se o valor dos comprimentos dos lados (L), sendo que em um nível infinito, os comprimentos dos lados (L) também seriam infinitos, porém colapsados em uma área geométrica finita.

Os fractais são uma construção matemática teórica, porém sua propriedade de autossimilaridade pode ser aplicada a formas geométricas complexas reais, pelo menos de modo aproximado (MITCHELL 2009, p. 106). A fim de demonstrar aplicabilidade dos fractais a estruturas geométricas complexas reais, Von Wangenheim et al. (2009) comparam a figura geométrica simples de um círculo com a figura geométrica complexa da costa marítima da Grã-Bretanha. Na primeira, ao diminuir os intervalos de medição, a “abertura do compasso”, ou seja, tornar a medição do perímetro do círculo mais precisa, esse valor converge, segundo a fórmula geométrica do diâmetro multiplicado pela constante π (Ilustração 10).

Ilustração 10 – Perímetro do Círculo com Diâmetro de 1.000 km

Fonte: adaptada de Von Wangenheim et al. (2009)

Abertura do compasso (precisão)	Perímetro do Círculo
500,00 km	3.000 km
258,82 km	3.106 km
130,53 km	3.133 km
65,40 km	3.139 km
32,72 km	3.141 km
16,36 km	3.141 km

Quadro 2 – Perímetro do Círculo com Diâmetro de 1.000 km

Fonte: adaptado de Von Wangenheim et al. (2009)

Observa-se, dessa forma, a convergência do valor do perímetro do círculo para 3.141 km (π vezes diâmetro), quando a “abertura do compasso”, ou seja, a precisão da medida é suficiente para tal. Em figuras simples como o círculo, existe um valor de perímetro “correto” que independe da escala de mediação, necessitando-se apenas de determinado grau de precisão mínima para atingi-lo. Ao aproximar-se de tal precisão, observa-se que o perímetro do círculo converge rapidamente para seu valor efetivo de 3.141 km.

Nos objetos complexos, por outro lado, o perímetro ou comprimento dos lados depende da precisão utilizada, já que as estruturas tendem a fractais, ou seja, não convergem para um determinado valor pela propriedade de autossimilaridade, conforme discutido teoricamente na Curva de Koch. A fim de demonstrar tal fenômeno, Von

Wangenheim et al. (2009) aplicam o mesmo método do cálculo do perímetro do círculo, porém a um objeto complexo, o litoral da Grã-Bretanha (Ilustração 11).

Ilustração 11 – Comprimento do Litoral da Grã-Bretanha

Fonte: adaptada de Von Wangenheim et al. (2009)

Abertura do compasso (precisão)	Comprimento do litoral da Grã-Bretanha
500 km	2.600 km
100 km	3.800 km
54 km	5.770 km
17 km	8.640 km

Quadro 3 – Comprimento do Litoral da Grã-Bretanha

Fonte: adaptado de Von Wangenheim et al. (2009)

Observa-se que no caso do litoral da Grã-Bretanha, diferentemente do círculo, seu comprimento não converge quando amplia-se a precisão da mensuração, ao contrário, o valor do comprimento também amplia-se. Tal resultado deve-se à propriedade fractal de autossimilaridade, as rugas do litoral são “linearizadas” em precisão, mas demonstram melhor sua verdadeira extensão com maior precisão. De acordo com Gleick (2008, p. 91), o litoral da Grã-Bretanha possui “um comprimento tecnicamente infinito.” (tradução do autor)

Apesar dos fractais em sua concepção matemática pura nunca convergirem, nas aplicações empíricas reais não existem fractais perfeitos, mas formas que se aproximam de estruturas fractais – *fractal like* – como define Mitchell (2009, p. 106). Assim o litoral da Grã-Bretanha demora muito mais que uma figura simples como um círculo, a convergir para um valor, como exemplificado na Ilustração 11, mas acaba por convergir por não ser um fractal perfeito. De acordo com *ukcoastguide* (2010), o litoral oficial da Grã-Bretanha converge para a distância de 12.500 km.

As aplicações dos fractais não são limitadas à geometria, podendo ser aplicadas também à estatística. Conforme Taleb (2009, p. 294), uma distribuição fractal pode explicar alguns fenômenos estatísticos melhor do que a curva de Gauss, também conhecida como curva normal. Essas situações ocorrem, segundo o autor, quando a distribuição é escalável, ou seja, não há uma redução tão significativa de eventos, quando aproxima-se dos pontos extremos da distribuição, tal qual ocorre com a curva normal. A fim de ilustrar tal situação, Taleb (ibidem) constrói a distribuição de renda de um país de forma gaussiana e fractal (Quadro 4).

Riqueza Pessoal (milhões de euros)	Distribuição Gaussiana	Distribuição Fractal
Maior que 1	1 em 63	1 em 63
Maior que 2	1 em 127.000	1 em 125
Maior que 4	1 em 14×10^9	1 em 250
Maior que 8	1 em $8,8 \times 10^{17}$	1 em 500
Maior que 16	1 em 16×10^{33}	1 em 1.000

Quadro 4 – Distribuição de Renda Gaussiana e Fractal

Fonte: adaptado de Taleb (2009, p. 294)

Observa-se no Quadro 4 um país europeu cuja probabilidade de encontrar-se uma pessoa com riqueza pessoal superior a um milhão de euros seja de 1 para 63. Extrapolando-se essa probabilidade para riquezas maiores, segundo a distribuição gaussiana, os resultados ficam distantes da realidade, posto que existem multimilionários em todos os países europeus, algo que essa distribuição, de acordo com Taleb (ibidem), indica ser praticamente impossível. Assim, para valores maiores que quatro milhões de euros, a probabilidade seria uma em 14 bilhões de pessoas, algo praticamente impossível já que a população de todo o planeta gira em torno de 6

bilhões. Por outro lado, a distribuição fractal apresenta valores mais próximos da realidade, nesse caso, do que a distribuição de Gauss, com probabilidade de 1 em 250 pessoas para valores maiores que quatro milhões de euros.

Na verdade, o problema não está na curva de Gauss em si, a qual é matematicamente coerente e correta, mas em aplicações equivocadas dessa curva. O autor utiliza-se de um exemplo extremo para demonstrar seu conceito. Na distribuição proposta, a curva de Gauss teria uma média de 10 mil euros e um desvio-padrão de 500 mil euros. Nesse contexto tão assimétrico, a curva de Gauss não é realmente uma boa forma de modelar a distribuição, a qual poderia ser melhor modelada, por exemplo, por uma distribuição log-normal, ou como o autor apregoa, uma distribuição fractal. O ponto interessante levantado por ele é que, muitas vezes, utilizam-se modelos simétricos como a curva de Gauss de forma equivocada para distribuições sem essas características, para as quais o modelo fractal seria muito mais adequado.

Os fractais, então, demonstram sua utilidade teórica e prática como modelo geométrico representativo de diversos fenômenos naturais.

2.4 Aplicações da Teoria do Caos e Complexidade às Cadeias de Suprimentos

A teoria do caos e complexidade, apesar de oriunda das ciências naturais, tem sido aplicada também às ciências sociais. Nos campos da administração e da economia, tem sido aplicada à dinâmica de mercados. De acordo com Mitchell (2009, p. 9), as economias e os mercados são sistemas complexos, consequentemente sujeitos à teoria do caos e complexidade. Gleiser (2002, p. 211) chegou à mesma conclusão quanto à economia e às finanças. Tal fato explicaria, para esses autores, os motivos de bolhas especulativas, euforias e irracionalidade que tomaram conta dos mercados financeiros ao longo das últimas décadas. Bass (2000) relata que diversos cientistas ligados às ciências naturais, tais como os físicos Doyne Farmer e Norman Packard, têm aplicado seus modelos de sistemas complexos ao mercado financeiro com relativo sucesso.

As cadeias de suprimentos também são passíveis de serem estudadas como sistemas complexos e consequentemente passíveis de aplicações da teoria do caos e complexidade em alguns de seus aspectos (HWRANG e XIE, 2008; STAPLETON, 2006; WILDING, 1998). A fim de verificar se determinado sistema pode se comportar como um sistema complexo, Mitchell (2009, p. 12) estabelece três propriedades que os sistemas complexos devem possuir:

a) *Comportamento Coletivo Complexo*: o sistema deve constituir-se de uma ampla rede de componentes individuais, cada qual seguindo regras independentes e relativamente simples, sem um controle central;

b) *Sinalização e Processamento de Informação*: o sistema produz e usa informações, tanto de seu ambiente interno, quanto do ambiente externo;

c) *Adaptação*: os sistemas adaptam-se, mudando seu comportamento, a fim de aumentar suas chances de sobrevivência, seja por processos evolucionários ou de aprendizagem.

Ao estudarem-se as cadeias de suprimentos, pode-se argumentar que propriedades que a autora enumera estão presentes, tornando-as, portanto, sistemas complexos. As cadeias de suprimentos possuem uma ampla rede de organizações (“componentes individuais”) que seguem uma lógica própria de busca de retorno financeiro, sem um controle central. Ademais, existe um processo de sinalização e processamento de informação e esses sistemas são adaptativos, posto que em sua busca por retorno financeiro incorrem em processos de aprendizagem. Essa discussão, contudo, é parte do escopo deste trabalho e será objeto da pesquisa nos capítulos 3 e 4.

Ruelle (1993) ressalta ainda que tais aplicações da teoria do caos e complexidade às ciências sociais são mais metafóricas do que matemáticas, porém permitem uma visão mais rica dessas ciências. No caso específico da gestão das cadeias de suprimentos, podem permitir um entendimento mais profundo e completo de sua dinâmica como sistema complexo.

2.4.1 O Efeito Forrester e a Dependência Hipersensível das Condições Iniciais

O efeito Forrester, também conhecido como efeito chicote ou *bullwhip effect* na literatura, foi inicialmente identificado por Forrester (1958). Esse efeito é o resultado da discrepância entre a demanda real e a prevista, ao longo dos elos da cadeia de suprimentos. As empresas buscam alinhar sua oferta a essa demanda prevista, a fim de não deixar de atendê-la. Contudo, como muitas vezes essa demanda prevista não se concretiza, as empresas acabam com excesso de estoque, o que as leva a reduzirem suas

compras. Pode ainda ocorrer a situação inversa, na qual uma falta de estoque leva ao aumento de pedidos, criando uma imagem falsa de alta demanda junto aos fornecedores. Svensson (2005) afirma que o efeito chicote significa, resumidamente, que a variabilidade dos estoques tende a ser cada vez maior ao mover-se à montante da cadeia de suprimentos, afastando-se do ponto de consumo final. A fim de ilustrar tal fenômeno, Simchi-Levi et al. (2000, p. 103) descrevem o caso do efeito chicote na Procter & Gamble:

Examinando a demanda por fraldas Pampers, os executivos da Procter & Gamble observaram um fenômeno interessante. Conforme esperado, as vendas de produtos a varejo eram bastante uniformes: não existe um dia ou mês específico no qual a demanda é significativamente maior ou menor do que em outro. Entretanto, os executivos observaram que os pedidos colocados pelos distribuidores para a fábrica flutuavam muito mais do que as vendas a varejo. Além disso, os pedidos da P&G para seus fornecedores flutuavam ainda mais.

Taylor (2006, p. 321) define o efeito Forrester como a “tendência de aumento das flutuações na demanda, à medida que se movem à montante da cadeia”, resumindo as conclusões acerca do caso contado por Simchi-Levi (Ilustração 12).

Ilustração 12 – Efeito Forrester

Fonte: adaptada de Taylor (2006, p. 38)

Lee et al. (2004), em sua pesquisa, chegaram à mesma conclusão que Simchi-Levi et al. (2000), ou seja, que uma pequena variação no consumo de um produto final provocava uma grande variação nos pedidos à montante da cadeia de suprimentos.

A explicação mais usual para a causa desse fenômeno é a deficiência das trocas de informações entre os elos da cadeia de suprimentos (SVENSSON, 2005; SIMCHI-LEVI, 2000; TAYLOR, 2006). Stapleton et al. (2006, p. 111) argumentam que apesar dessa visão mais usual não estar intrinsecamente errada, falta-lhe um contexto mais

amplo: a deficiência de troca de informações só tem relevância visto que é amplificada ao longo da cadeia de suprimentos, de outro modo teria um impacto limitado e seria irrelevante. Assim, a questão fundamental não está nas trocas de informações em si, porém na dependência hipersensível das condições iniciais, que provoca essa amplificação, gerando situações de caos e complexidade ao longo da cadeia de suprimentos. Para os autores, o efeito Forrester seria, portanto, explicado na medida em que pequenas variações no consumo de produto final nas cadeias de suprimentos geram efeitos desproporcionais à montante da cadeia pelo efeito borboleta, provocado pela complexidade de relações entre fornecedores e clientes ao longo da cadeia de suprimentos.

Esses argumentos e conclusões de Stapleton et al. (2006) serão parte da pesquisa desta dissertação, a serem explorados nos capítulos 3 e 4.

2.4.2 Atratores nas Cadeias de Suprimentos

Os atratores aplicam-se a sistemas que evoluem no tempo, permitindo uma representação geométrica dessa evolução. Para sistemas simples, em geral, os atratores são também formas geométricas simples, tais como pontos, círculos ou cones. Os sistemas complexos também podem ser representados por atratores, contudo as formas geométricas são mais complexas como o atrator de Edward Lorenz discutido na seção 2.3.2 deste trabalho.

Uma vez que diversos autores (HWRANG e XIE, 2008; STAPLETON, 2006; WILDING, 1998) argumentam que as cadeias de suprimentos podem ser entendidas como sistemas complexos, consequentemente pode-se atribuir atratores a sua evolução temporal e pode-se esperar que estes sejam figuras geométricas complexas.

Um modelo de atrator que pode representar a evolução de uma cadeia de suprimentos foi proposto por Fine (1998), o chamado Modelo Setorial da Dupla Hélice. O autor adaptou seu modelo, inspirando-se no trabalho ganhador do Prêmio Nobel de 1962 que busca explicar o DNA, o modelo de “Dupla Hélice” de James Watson e Francis Crick. Fine (ibidem) criou seu modelo empresarial, também como uma hélice dupla, tendo como base um ciclo duplo infinito, um “atrator”, apesar de o autor não utilizar esse termo (Ilustração 13).

Ilustração 13 – Modelo da Dupla Hélice de Fine

Fonte: adaptada de Fine (1998, p. 58) – tradução do autor

Nesse modelo, há um ciclo infinito, um atrator, representado pelas hélices, no qual os setores econômicos oscilam entre empresas muito grandes, integradas verticalmente (hélice esquerda) e pequenas empresas, horizontais, desintegradas (hélice direita). Assim alternam-se fases de integração e desintegração no setor ao longo do tempo. Tal comportamento, ou seja, o “atrator”, é conduzido em um ciclo (hélice esquerda), por forças como a competição por nichos de mercado, a tensão de manter a paridade tecnológica entre diversos produtos e a lentidão de tomada de decisões pelos líderes de mercado, levando as empresas integradas verticalmente em direção à desintegração e estrutura horizontal. No outro ciclo do atrator (hélice direita) com o setor horizontal, a força de barganha dos fornecedores e a corrida de diversas empresas, a fim de promover suas tecnologias patenteadas, exercem pressão no sentido da reintegração vertical.

De acordo com Santos (2008, p. 74), um exemplo desse movimento de hélice dupla é fornecido pela evolução histórica dos computadores. Durante os anos 1970, a estrutura do setor era vertical com as três maiores empresas IBM, DEC e HP exibindo alto grau de integração vertical, projetando e construindo todos os componentes de *hardware* e *software* para seus produtos finais. No início dos anos de 1980, essa situação ainda predominava com a liderança da IBM, contudo seu esforço para manter

as competências em todo o espectro de tecnologias era enorme e o ritmo de inovações no setor acelerava-se. Nesse contexto, a Apple Computer criou seu computador destinado a um novo segmento de mercado, e a líder IBM reagiu criando sua própria divisão de computadores pessoais, a qual optou por uma arquitetura de produto modular, terceirizando o processador para a Intel e o sistema operacional para a Microsoft. Essa mudança do setor permitiu o surgimento de diversos novos empreendedores, levando o setor para uma estrutura horizontal. Assim, o setor migrou da hélice esquerda para a direita da década de 1970 para fins da década de 1980.

O modelo de Fine tem as características de um atrator, sendo uma figura geométrica, a dupla hélice, que representa a evolução temporal de um setor. Contudo, pode-se criticar o modelo no sentido de que os ciclos de integração vertical e horizontal não possuem sempre a mesma intensidade, ou seja, as hélices não teriam sempre a mesma “envergadura”, podendo em um ciclo passar por uma forte integração vertical e na volta à hélice em outro ciclo, passar por um processo mais suave da mesma integração. Essa concepção crítica é a mesma do atrator estranho de Edward Lorenz, o qual representava o ciclo climático. Os períodos de frio e calor se alternam, contudo nem sempre na mesma intensidade. Assim não são uma dupla hélice, mas um conjunto de possíveis hélices próximas sujeitas à dependência hipersensível das condições iniciais.

Dessa forma, poder-se-ia argumentar que uma fusão entre os atratores de Fine e Lorenz possa representar melhor o comportamento de uma cadeia de suprimentos como sistema complexo (Ilustração 14).

Ilustração 14 – Atrator de Fine-Lorenz

Fonte: elaboração do autor

O atrator de Lorenz complementa a ideia de Fine ao introduzir a dependência hipersensível das condições iniciais à dupla hélice, gerando assim não apenas duas hélices possíveis, porém um conjunto de diversas hélices representando graus mais fortes ou mais suaves de ciclos de integração e desintegração no setor ao longo do tempo. Esse atrator de Fine-Lorenz é uma proposta desta dissertação, posto que não é encontrado na literatura acadêmica e será objeto de pesquisa quanto a sua viabilidade teórica e prática nos capítulos 3 e 4.

2.4.3 Dinâmica Complexa nas Cadeias de Suprimentos

A teoria do caos e complexidade, com a contribuição de May (1976) demonstrou que é possível, mesmo em sistemas relativamente simples, como o sistema representado pela Equação 2.1, na seção 2.3.3, apresentarem comportamento caótico, se houver um fator dinâmico cuja interação intrínseca seja rápida demais para permitir ao sistema se estabilizar. Na citada equação, enquanto esta representava uma população animal, o

referido fator dinâmico “ r ” era a taxa de crescimento populacional. Enquanto essa taxa era relativamente baixa, havia tempo suficiente para a população estabilizar-se, levando a um estágio final de equilíbrio. Contudo, a partir de um determinado valor crítico de “ r ”, a interação populacional passava a ser tão rápida, que não permitia ao sistema estabilizar-se levando a um estágio final imprevisível e caótico.

Utilizando-se desse conceito, Hwarng e Xie (2008, p. 1177) testam o comportamento de uma cadeia de suprimentos modelada por *software*, o chamado *Beer Distribution Game*, em relação a diversos fatores, buscando identificar comportamentos caóticos. Os autores chegam à conclusão de que o comportamento caótico nas cadeias de suprimentos, a sua dinâmica complexa, pode ser gerado por fatores exógenos, tais como a demanda dos clientes, porém associado a fatores endógenos, tais como sequenciamento, *lead time* e compartilhamento de informações. Ainda segundo os autores, tais conclusões são contrárias à percepção convencional de que a variabilidade do sistema é causada principalmente por fatores externos imprevisíveis. Assim, o gerenciamento da cadeia de suprimentos de forma efetiva requereria que os decisores compreendessem não somente os fatores externos às cadeias de suprimentos, mas também sua interação complexa com fatores endógenos dessas mesmas cadeias.

Nesse contexto, poder-se-ia argumentar que cadeias de suprimentos cujos fluxos de informações financeiros e de materiais, possuam uma velocidade de circulação relativamente baixa, algo similar ao fator “ r ” da Equação 2.1, ou ainda ao rio com velocidade baixa de escoamento da água, não apresentarão comportamento caótico, pois haveria tempo para o sistema estabilizar-se e chegar a um equilíbrio. Por outro lado, a partir de certa velocidade crítica dos fluxos de informações, financeiros e de materiais, apareceriam comportamentos caóticos ao longo da cadeia de suprimentos, similarmente ao rio com corredeiras e redemoinhos, visto que a alta velocidade dos fluxos impediria, por falta de tempo, a estabilização do sistema, levando a uma condição de não equilíbrio.

Essa proposta de Hwarng e Xie (2008) será investigada dentro do escopo da pesquisa desta dissertação.

2.4.4 Estruturas Fractais nas Cadeias de Suprimentos

As estruturas fractais formadas por autossimilaridade, ou seja, com capacidade de manter sua mesma estrutura em diversos níveis, explicam diversos fenômenos

naturais, como discutido na seção 2.3.4. Essas estruturas fractais podem ser usadas, metaforicamente, para reduzir comportamentos caóticos nas cadeias de suprimentos. Wilding (1998) argumenta que há duas principais razões para o surgimento de comportamentos caóticos nas cadeias de suprimentos: o processo decisório dos executivos e os modelos preditivos determinísticos gerados por computador. A fim de contornar tais problemas, o autor sugere que diversas cadeias de suprimentos busquem não mais modelos computacionais preditivos, mas integração com seus fornecedores e cliente, por meio da tecnologia da informação e formação de parcerias, o que permitiria dispensar até certo ponto os modelos preditivos em prol de modelos integrados de informação compartilhada.

Essa seria a estratégia japonesa, segundo Rocha (2000), para combater os comportamentos caóticos nas cadeias de suprimentos, utilizando-se do chamado *keiretsu*, o qual para Cutts (1992) significa uma rede de interesses entrelaçados que se fundamenta na aceitação de um contrato social nacional pelos trabalhadores, empresas e governo, assim como na concordância dos consumidores, que são penalizados. De acordo com Rocha (2000), as principais características dos *keiretsus* podem ser resumidas como:

- a) troca de diretores, intensificando o relacionamento e facilitando o fluxo de informações entre as empresas afiliadas;
- b) envio de executivos em sinal de cortesia para atuar em áreas que outras empresas não têm experiência, o que solidifica a coesão grupal;
- c) participações cruzadas, tornando as empresas acionistas umas das outras;
- d) a filiação a um *keiretsu* implica a propriedade recíproca de ações ordinárias entre as empresas afiliadas (KESTER, 1993, p. 51);
- e) participações acionárias individuais são pouco significativas, porém a soma das participações das empresas do grupo pode chegar a 50%, o que torna a base de acionistas estável e o risco de *takeover*, pequeno;

- f) empresas que ocupam as camadas inferiores devem prover bens e serviços às empresas-membros e autossustentação para o grupo;
- g) na medida em que uma empresa prospera, todos os membros do grupo devem beneficiar-se.

Dessa forma, percebe-se no *keiretsu*, metaforicamente, a existência de estruturas fractais, ou seja, a propriedade de autossimilaridade, na medida em que as estruturas são mantidas similares nos diversos níveis da cadeia de suprimentos, como estratégia de negócios e de gestão. Os *keiretsus* seriam assim um exemplo claro da aplicação dos fractais, por sua autossimilaridade, às cadeias de suprimentos. Ademais, poder-se-ia argumentar que, mesmo de forma mais difusa, algumas das características de autossimilaridade dos *keiretsus* estariam também presentes em outras formas de organização de cadeias de suprimentos.

Essa aplicação de fractais, como imagem metafórica, a cadeias de suprimentos, sejam *keiretsus* ou não, será objeto da pesquisa deste trabalho e explorada nos capítulos seguintes.

CAPÍTULO 3 – MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo apresenta a discussão acerca do método de pesquisa a ser utilizado a fim de responder as questões formuladas no início deste estudo. Alguns trabalhos científicos utilizam a expressão “metodologia de pesquisa” para definir essa discussão sobre o método empregado pela pesquisa. Contudo, “metodologia” significa “estudo do método” e o presente trabalho não tem por escopo discutir questões epistemológicas e de filosofia das ciências da metodologia em si, mas sim discutir a aplicação de um método científico específico a questões de pesquisa definidas. Por essa questão hermenêutica, esta dissertação adota apenas a expressão “método de pesquisa” em lugar de “metodologia de pesquisa”.

3.1 Definição do Método de Pesquisa

Segundo Selltitz et al. (1974, p. 5), “o objetivo da pesquisa é descobrir respostas para perguntas, por meio do emprego de processos científicos”. Ainda de acordo com esses mesmos autores, cada estudo tem seus objetivos específicos, e o método deve ser o mais adequado a cada pesquisa em particular. Feyerabend (2007, p. 42), com seu princípio de “vale tudo”, destaca a mesma ideia, ou seja, que a ciência não possui um método único e inequívoco e que cabe ao pesquisador identificar e determinar o mais adequado a sua pesquisa. Na mesma linha de raciocínio, Lakatos e Marconi (2001, p. 84) argumentam que o método científico procura compreender as relações entre as coisas, por meio da observação científica e do raciocínio.

A fim de estudar-se a teoria do caos e complexidade aplicada às ciências sociais, Ruelle (1993) adverte que a abordagem deve ser qualitativa e metafórica, visto que, em sua visão, as aplicações quantitativas dessa teoria restringem-se às ciências naturais. Morin e Moigne (2000, p. 207) argumentam, de forma complementar, que só é possível estudar a complexidade, com um pensamento complexo, aquele que é “*complexus* – aquilo que é tecido conjuntamente”, ou seja, o método científico que pretenda estudar a complexidade deve necessariamente ser capaz de “contextualizar, de globalizar, mas, ao mesmo tempo, capaz de reconhecer o singular, o individual, o concreto” (ibidem).

Moreira (2002, p. 57) corrobora a visão desses autores ao enumerar algumas das principais características da pesquisa qualitativa:

- a) foco na interpretação, em vez da quantificação;
- b) ênfase na subjetividade, em vez da objetividade;
- c) flexibilidade no processo de condução da pesquisa;
- d) orientação para o processo, não para o resultado.

Observa-se, assim, que a pesquisa qualitativa é defendida na condução de estudos da teoria do caos e complexidade nas ciências sociais, pois, há foco na interpretação e orientação para o processo, algo necessário na medida em que as séries temporais não apenas evoluem, mas mudam, “aprendem” (RUELLE, 1993) e há ênfase na subjetividade, flexibilidade para a condução da pesquisa e interpretação, características indispensáveis ao pensamento complexo no sentido de Morin e Moigne (2000).

Dessa forma, seguindo a argumentação desses autores, e tendo em vista as questões de pesquisa deste trabalho acerca da contribuição da teoria do caos e complexidade para o entendimento das cadeias de suprimentos, bem como suas aplicações a estas, percebe-se que o método mais adequado à presente dissertação deve ser o estudo de caso. Pode-se ainda argumentar que o estudo de caso permite um diálogo “complexo”, metaforicamente, já que os próprios Morin e Moigne (2000, p. 207) definem como complexo aquele capaz “de contextualizar, de globalizar, mas, ao mesmo tempo, capaz de reconhecer o singular, o individual, o concreto”.

O método que melhor se enquadra nessas características, e que é, portanto adotado por este trabalho é o estudo de caso. Tal método é qualitativo como defende Ruelle (1993) e permite, utilizando-se do caso em si, um pensamento complexo, no sentido de uma busca por contextualizar, globalizar, replicar o caso para um universo mais abrangente, mesmo que de forma qualitativa e metafórica, ao mesmo tempo em que se reconhece sua singularidade, individualidade como caso específico, sua concretude, adequando-se assim à proposta de complexidade de Morin e Moigne (2000).

O estudo de caso é definido por Yin (2001, p. 32) como um método de pesquisa com três características marcantes:

- a) ser uma investigação empírica que estuda um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, no qual os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos;
- b) enfrentar uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais pontos de interesse do que fontes de dados, exigindo triangulações de evidências;
- c) beneficiar-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e análise de dados.

Desse modo, considerando-se a questão de pesquisa que guia este trabalho – se as ideias e os conceitos da teoria do caos e complexidade podem enriquecer o estudo da gestão de cadeias de suprimentos – a utilização do método de estudo de caso é bastante adequada à definição de Yin (2001, p. 32), na medida em que a gestão da cadeia de suprimentos é um fenômeno contemporâneo, no qual os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (item a), cada cadeia de suprimentos é tecnicamente única (item b) e a questão de pesquisa investiga justamente um desenvolvimento prévio de proposições teóricas, a teoria do caos e complexidade, a qual possuirá um papel central também na coleta e análise de dados (item c).

3.2 Detalhamento do Método de Pesquisa

O estudo de caso, de acordo com Yin (2001, p. 61), possibilita basicamente quatro tipos de estudo: (1) projetos de casos únicos holísticos; (2) projetos de casos únicos incorporados; (3) projetos de casos múltiplos holísticos; (4) projetos de casos múltiplos incorporados.

Para o autor, o estudo de caso único é semelhante a um experimento único, sendo adequado em três situações:

- a) *Caso decisivo para testar uma teoria*: o caso decisivo ocorre após a teoria ter especificado um conjunto claro de proposições, assim como de circunstâncias nas quais se acredita que tais proposições sejam verdadeiras. Para confirmar, contestar ou estender a teoria, deve existir um caso único que satisfaça todas as condições para testar a teoria.

b) *Caso raro ou extremo*: o caso raro ou extremo tem valor justamente pela impossibilidade de uma exploração mais extensiva do fenômeno, dada sua raridade. Assim, o caso único pode fornecer informações e características até então desconhecidas sobre o fenômeno estudado.

c) *Caso revelador*: o caso revelador ocorre quando o pesquisador tem a oportunidade de estudar um fenômeno previamente inacessível à investigação científica. Assim, quando pesquisadores têm oportunidade de estudar fenômenos que eram predominantemente inacessíveis aos outros cientistas, justifica-se a utilização de um caso único por sua natureza reveladora.

A presente dissertação adotou o estudo de caso único, uma vez que o caso estudado enquadra-se na categoria de caso revelador. O estudo de caso, explicitado em detalhes no capítulo 4, é a cadeia de suprimentos da empresa L'acqua di Fiori, a qual adota o formato de franquia empresarial no setor de perfumaria e cosméticos.

Esse estudo de caso pode ser considerado um caso revelador, na medida em que foram investigadas as bases de pesquisa do *Google Scholar*, *SciELO* e *Proquest* e foi encontrado apenas um artigo relacionando diretamente a teoria do caos e complexidade e as franquias empresariais (QUANJUN, 2003). Em outras palavras, pouca atenção dos pesquisadores foi dedicada à teoria do caos e complexidade nas franquias empresariais e dessa forma, se a presente dissertação encontrar evidências dessa teoria em uma cadeia de suprimentos de uma franquia empresarial, poderá ser nesse sentido “reveladora”, indicando a eventual possibilidade de uma nova abordagem de pesquisa para esse tipo de cadeia de suprimentos.

Entende-se, no contexto deste trabalho, por franquia empresarial no Brasil, a definição dada pela lei federal número 8.955 de 15 de dezembro de 1994, a qual, em seu artigo segundo, conceitua as franquias no Brasil como:

Franquia empresarial é o sistema pelo qual um franqueador cede ao franqueado o direito de uso de marca ou patente, associado ao direito de distribuição, exclusiva ou semiexclusiva de produtos ou serviços, e eventualmente, também ao direito de uso de tecnologia de implantação e administração de negócio ou sistema operacional desenvolvidos ou detidos pelo franqueador, mediante remuneração direta ou indireta, sem que no entanto, fique caracterizado vínculo empregatício. (Lei federal 8.955/94)

O modelo da franquia empresarial é ainda particularmente adequado a esta dissertação, posto que se trata, ainda que parcialmente, de um caso extremo, no sentido de Yin (2001), na medida em que é uma cadeia de suprimentos cuja governança é fortemente exercida pelo franqueador, inclusive por força contratual e regulamentada por lei. Essa regulamentação será melhor explorada no capítulo 4. Assim, é parcialmente um caso extremo, no qual o aparecimento de evidências da teoria do caos e complexidade pode sugerir que é provável que essa teoria também esteja em cadeias de suprimentos com governança menos efetiva, visto que, a princípio pelo menos, a teoria do caos e complexidade torna-se mais provável, quanto mais complexo o ambiente. A governança rígida exercida pelo franqueador no modelo de franquias empresariais seria assim um fator de diminuição da turbulência, da complexidade da cadeia de suprimentos, tornando assim menos provável o aparecimento de evidências dessa teoria em tal cadeia, tornando-a, portanto, parcialmente um caso extremo. Evidências da teoria do caos e complexidade na cadeia de suprimentos de um setor de governança rígida como o das franquias empresariais podem sugerir que tais características seriam até mais prováveis em outros setores cuja governança não seja tão rígida.

Para o desenvolvimento do estudo de caso em questão, foi escolhida a rede de franquias empresariais L'acqua di Fiori, com sede na cidade Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, mas que possui uma ampla rede de franqueados por todo o Brasil. O ramo de atividade dessa franqueadora é o de perfumes e cosméticos.

Assim, o estudo de caso único, da cadeia de suprimentos da L'acqua di Fiori justifica-se, pois, (i) é um caso revelador, posto que a teoria do caos e complexidade foi muito pouco explorada especificamente para as franquias empresariais e (ii) é um caso extremo, pelo menos parcialmente, já que a rígida governança exercida pelo franqueador diminui a turbulência e complexidade da cadeia de suprimentos, tornando-a portanto “extrema” em baixa complexidade e turbulência, pelo menos quando comparada com cadeias de suprimentos com pouca governança.

Segundo Godoi et al. (2007, p. 124), os estudos de caso além de únicos ou múltiplos, podem ser ainda holísticos ou incorporados. Os estudos de caso holísticos são aqueles que estudam o objeto de pesquisa, no caso a cadeia de suprimentos, como um todo, enquanto os estudos de caso incorporados analisam subunidades da cadeia de suprimentos. Na presente pesquisa apresenta-se um estudo de caso incorporado, no qual foram estudadas subunidades da cadeia de suprimentos da L'acqua di Fiori, de forma a

permitir uma análise de possíveis aplicações da teoria do caos e complexidade às relações entre os elos dessa cadeia de suprimentos, ou seja, entre as subunidades do estudo de caso incorporado.

3.2.1 Etapas da Pesquisa

De acordo com Yin (2001, p. 73) e Godoi et al. (2007, p. 128), o método do estudo de caso deve se desenvolver em três etapas distintas:

- 1) *Definição e planejamento*: essa etapa envolve o desenvolvimento da teoria, a seleção do caso e o projeto do protocolo de coleta de dados;
- 2) *Preparação, coleta e análise de dados*: fase correspondente à condução do estudo de caso e à preparação do relatório de pesquisa;
- 3) *Análise e conclusão*: etapa de inclusão do exame dos resultados obtidos, bem como de sua comparação com a teoria, a fim de gerar possíveis implicações dos resultados obtidos.

A seguir, será detalhada cada uma das três etapas especificamente no tocante à presente dissertação.

3.2.1.1 Definição e Planejamento do Estudo

Conforme discutido na seção anterior, a presente pesquisa consiste em um estudo de caso único, no qual se busca encontrar evidências da aplicação da teoria do caos e complexidade, discutida e desenvolvida no capítulo 2.

O caso escolhido foi a cadeia de suprimentos da L'acqua di Fiori, rede de franquias empresariais do segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer (ABF, 2010). A escolha foi realizada e justifica-se pelos seguintes motivos:

- a) a importância econômica, tanto do setor de franquias empresariais no Brasil, quanto do segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer. O setor de franquias empresariais no Brasil faturou no ano de 2009 cerca de R\$ 63 bilhões com 80 mil unidades franqueadas,

gerando ainda 647 mil empregos diretos (ABF, 2010). O segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer faturou no ano de 2009 cerca de R\$ 9,8 bilhões com 14 mil unidades franqueadas (ABF, 2010). Dessa forma, tanto o setor de franquias empresariais, quanto o segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer possuem relevância econômica e social.

b) a relevância da L'acqua di Fiori no segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer, sendo a segunda maior empresa no segmento com 1150 unidades franqueadas e 16 unidades próprias e a sexta maior rede de todos os segmentos (ABF, 2010). Dessa forma, torna-se um caso relevante no contexto desse segmento e mesmo do setor de franquias empresariais, pelo seu porte e também pelo tempo de existência – fundada em 1980, é uma das redes de franquia mais antigas do Brasil, no segmento.

c) a disponibilidade de informações fornecidas e compartilhadas pela cadeia de suprimentos da L'acqua di Fiori a esta dissertação.

As unidades de análise correspondem a elos da cadeia de suprimentos selecionados dessa rede de franquias, os quais foram analisados com foco em seus fluxos de recursos – financeiros, de informações e materiais – visando à identificação de possíveis aplicações da teoria do caos e complexidade.

Nesse contexto, tomou-se por variáveis a serem analisadas, a presença ou ausência, nos fluxos de recursos dos elos da cadeia de suprimentos analisada, de evidências dos seguintes elementos da teoria do caos e complexidade:

- 1) *Dependência hipersensível das condições iniciais*, também conhecida como efeito borboleta, conforme descrita na seção 2.3.1 do capítulo 2;
- 2) *Atratores estranhos*, como definidos na seção 2.3.2 do capítulo 2;
- 3) *Dinâmica complexa*, na forma de sua definição na seção 2.3.3 do capítulo 2;
- 4) *Fractais*, conforme descrito na seção 2.3.4 do capítulo 2.

Essas variáveis foram analisadas de forma qualitativa, ou seja, tornando-se variáveis binárias de presença ou não presença (sim ou não) de evidências dos

elementos da teoria, mediante comparação da descrição dos elementos realizada no capítulo 2 com os dados empíricos coletados, observados e analisados. Portanto, uma correspondência, ainda que metafórica, entre o elemento da teoria do caos e complexidade e os dados empíricos resultará em uma variável de presença (sim), enquanto a não correspondência do elemento da teoria com os dados resultará em uma variável de não presença (não). Ao final do estudo, serão reunidas essas variáveis de presença e não presença, a fim de proporcionar um quadro indicativo da aplicabilidade ou não da teoria do caos e complexidade ao caso estudado. Essa abordagem é defendida por Flick (2004), para o qual a teoria em um estudo de caso qualitativo deve servir de suporte, como uma “versão de mundo” a partir da qual os dados devem ser interpretados, comparados e eventualmente reinterpretados, tal como proposto no presente estudo.

3.2.1.2 Preparação, Coleta e Análise de Dados

Conforme exposto por Yin (2001, p. 105), as evidências e dados de um estudo de caso podem se originar de seis fontes distintas: documentos, registro em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

Ainda de acordo com o autor, somando-se às considerações acerca das diversas fontes de dados, a qualidade de um estudo de caso requer outras considerações, entre as quais: a utilização de diversas fontes de dados, para gerar triangulação e convergência dos dados obtidos; a criação de um banco de dados para facilitar a organização e análise dos dados do caso; e o encadeamento lógico das evidências, ou seja, as relações entre as questões do estudo, os dados coletados e as conclusões.

No presente estudo, levando-se em consideração os requisitos descritos anteriormente, foram utilizadas as seguintes fontes de dados:

a) *Documentação interna*: foram coletados dados internos da rede de franquia, tanto do franqueador quanto de franqueados selecionados, em especial referentes a estrutura organizacional, gestão de estoques, relações contratuais e comerciais, políticas internas, além de dados quantitativos de volume físico de estoques e resultados financeiros selecionados;

b) *Documentação externa*: foram coletados dados em jornais, revistas e sites da internet especializados, em especial da Associação Brasileira de Franchising (ABF), a fim de corroborar parte da documentação interna e permitir eventuais comparações de dados com o setor;

c) *Entrevistas*: foram realizadas entrevistas com executivos do franqueador, bem como com alguns franqueados selecionados, com o intuito de complementar os dados provenientes da documentação interna. Assim, as entrevistas não se utilizaram de um roteiro previamente delimitado e nem tiveram o mesmo conteúdo entre si, especialmente para franqueador e franqueados, na medida em que sua principal função foi de proporcionar uma triangulação de dados, aumentando assim sua confiabilidade no estudo de caso.

O objetivo da utilização de três fontes distintas para a coleta de dados é o questionamento da fidedignidade destes, ou seja, a busca, por meio da triangulação de diversas fontes, de dar a maior confiabilidade aos referidos dados, de forma que o estudo de caso tenha a melhor consistência empírica possível.

3.2.1.3 Estratégia de Análise dos Dados

Para Yin (2001, p. 131), a etapa da análise dos dados consiste em: “examinar, categorizar, classificar em tabelas, ou do contrário, recombina as evidências, tendo em vista as proposições iniciais do estudo”. Nessa mesma linha de raciocínio, o autor apresenta duas estratégias gerais de análise de dados (ibidem, p. 133):

a) *Desenvolver uma descrição do caso*: essa abordagem é geralmente utilizada para estudos descritivos e exploratórios, nos quais não há uma proposição teórica inicial a ser verificada empiricamente;

b) *Basear-se nas proposições teóricas*: essa abordagem, a mais comum das duas, se os dados corroboram ou não as proposições teóricas colocadas *a priori* no estudo de caso.

Este trabalho utilizou-se da estratégia (b), ou seja, baseou-se nas proposições teóricas. Assim, a estratégia de análise de dados foi a busca de correspondência ou não

entre os elementos da teoria do caos e complexidade, conforme descritos no capítulo 2, e os dados empíricos obtidos no estudo de caso.

3.2.2 Confiabilidade e Validade do Estudo

De acordo com Yin (2001, p. 55), as pesquisas sociais empíricas devem questionar-se acerca da qualidade de sua confiabilidade e validade, utilizando-se para tanto dos seguintes elementos:

- a) *Validade do constructo*: avalia basicamente a correção das variáveis, para medir os conceitos que estão sendo analisados;
- b) *Validade interna*: avalia a observância das relações lógicas e causais entre as variáveis analisadas;
- c) *Validade externa*: verifica o domínio, a extensão sobre a qual o estudo pode ou não ser generalizado;
- d) *Confiabilidade*: avalia se, e em qual grau, as condições do estudo podem ser repetidas, apresentando os mesmos resultados.

O presente estudo, a fim de garantir a validade do constructo, definiu especificamente quais os elementos da teoria do caos e complexidade a serem pesquisados (efeito borboleta; atratores estranhos; dinâmica complexa e fractais), além de utilizar-se de diversas fontes de evidência – documentação interna, externa e entrevistas – visando à convergência e confiabilidade dos dados levantados.

Em relação à validade interna, os elementos da teoria do caos e complexidade, ou seja, os padrões teóricos, foram pesquisados utilizando-se do formato de uma variável binária – sim ou não – para a verificação ou não de sua correspondência com os dados empíricos obtidos pelo estudo. Dessa forma, esse cruzamento entre padrões teóricos e dados empíricos, em seu conjunto, visa a garantir a validade interna do presente estudo.

Quanto à validade externa, o objetivo de um estudo de caso, em geral, não é a generalização estatística dos resultados obtidos, mas sim, na situação de estudo de caso

único, como a deste trabalho, a exploração de um novo campo de pesquisa – o caso revelador (Yin, 2001, p. 61). A validade externa será buscada nesta pesquisa pela própria escolha do caso em si, a rede de franquias empresariais L'acqua di Fiori, setor este para o qual aplicações da teoria do caos e complexidade praticamente são inexploradas.

Quanto à confiabilidade da pesquisa, a definição específica dos elementos da teoria do caos e complexidade a serem analisados, bem como a utilização de documentação interna e externa, já em si objetivos, mas ainda corroboradas por entrevistas com o franqueador e alguns franqueados selecionados neste trabalho, devem levar outro pesquisador, que venha a repetir iguais procedimentos, aos mesmos resultados obtidos por este estudo.

A seguir, no capítulo 4, serão apresentados e analisados os resultados desta pesquisa.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos pela pesquisa, por meio de uma breve apresentação e caracterização do setor de franquias e do segmento de Esportes, Saúde, Beleza e Lazer, seguido de caracterização e histórico da rede de franquias empresariais L'acqua di Fiori. A análise consiste na verificação da aplicabilidade de (i) fractais à estrutura da cadeia de suprimentos da rede L'acqua di Fiori; (ii) dinâmica complexa à evolução temporal dos estoques de franqueados selecionados; (iii) efeito borboleta ao lançamento de novos produtos na cadeia de suprimentos; (iv) atratores estranhos, especificamente, o atrator de Lorenz-Fine, à evolução da rede L'acqua di Fiori. A seguir, comparam-se os resultados obtidos de forma a avaliar a extensão das aplicações das proposições teóricas aos resultados empíricos.

4.1 Apresentação do Setor de Franquias

O modelo de negócios de franquia empresarial possui exemplos históricos assemelhados que remontam a Inglaterra do século XII. A maioria dos historiadores, contudo, aceita que o início do modelo de negócios tal como foi nos Estados Unidos, logo após o fim da Guerra da Secessão, quando a fabricante de máquinas de costuras Singer estabeleceu uma rede organizada de revendedores (SEBRAE, 2010, p. 4).

Dessa forma, o modelo de franquias foi fruto de uma evolução histórica gradativa e não de um *insight* individual ou de uma grande teoria de base. Esse processo foi resultante de um somatório de esforços e contribuições individuais de diversos empresários, os quais contribuíram, na maioria das vezes de forma intuitiva e empírica, a fim de resolver um problema específico de negócios (ibidem, p. 5)

No Brasil, apesar de franquias incipientes existirem desde a década de 1950, o formato de franquias ganhou impulso com a chegada das maiores redes mundiais em fins da década de 1970 e início da década de 1980 – McDonald's, por exemplo, em 1979 – e de redes nacionais de maior porte – O Boticário em 1977 e a L'acqua di Fiori em 1980, por exemplo. A própria Associação Brasileira de Franchising – ABF, entidade mais representativa do setor, foi criada em 1987 (ABF, 2010).

Nesse contexto, o setor de franquias desenvolveu-se de forma mais acentuada nas décadas de 1990 e de 2000, ensejando inclusive a publicação de regulamentação do

setor, na forma da lei federal nº 8.955, em 15 de dezembro de 1994. Além do arcabouço legal, a estabilidade da economia brasileira, desde a consolidação do Plano Real, incentivou o crescimento do setor, visto que as franquias empresariais tornaram-se uma alternativa de investimento mais interessante após o controle da inflação e consequente redução das taxas de juros nominais. O Gráfico 1 a seguir demonstra a evolução do setor em termos de faturamento bruto consolidado das redes de franquia na última década.

Gráfico 1 – Faturamento do Setor de Franquias no Brasil

Fonte: ABF (2010)

Observa-se uma evolução do setor de franquias empresariais no Brasil em termos de faturamento bruto, o qual mais do que dobrou no período de 2001 a 2009, apresentando uma evolução de 152%, de 25 bilhões de reais em 2001 para mais de 63 bilhões de reais em 2009. Além da evolução do setor em termos de faturamento, ocorreu também uma evolução em termos de número de redes de franquia, demonstrada a seguir no Gráfico 2, bem como do número de unidades franqueadas, conforme demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 2 – Número de Redes de Franquias no Brasil

Fonte: ABF (2010)

Gráfico 3 – Número de Unidades Franqueadas no Brasil

Fonte: ABF (2010)

Na mesma linha que o faturamento bruto, o número de redes de franquias empresariais no Brasil aumentou 174% na última década, passando de 600 redes em 2001 para 1643 em 2009. A mesma lógica aplica-se ao número de unidades franqueadas no período, a qual evoluiu de 51 mil em 2001 para cerca de 80 mil em 2009, ou seja, uma evolução de 57% no período.

Dessa forma, observa-se nas últimas duas décadas, além de um amadurecimento institucional do setor de franquias, com a criação da ABF e sua regulamentação mediante a lei federal 8.955/94, sua evolução econômica e financeira, consolidando o setor como um polo dinâmico de atração de investidores e relevante na economia brasileira, representando sozinho, inclusive, mais de 2% do PIB brasileiro de 2009 (ABF, 2010; IBGE, 2010).

O setor de franquias empresariais, de acordo com a classificação da ABF (2010), divide-se ainda em doze segmentos de negócios, conforme demonstrado no Quadro 5 a seguir:

Segmento do Setor de Franquias	Faturamento - milhões de reais - ano 2008	Faturamento - milhões de reais - ano 2009
Acessórios Pessoais e Calçados	2.640	3.727
Alimentação	8.971	10.929
Educação e Treinamento	4.833	5.194
Esporte, Saúde, Beleza e Lazer	8.468	9.867
Fotos, Gráficas e Sinalização	1.438	1.487
Hotelaria e Turismo	1.021	1.266
Informática e Eletrônicos	723	932
Limpeza e Conservação	566	625
Móveis, Decoração, Presentes e Mobiliária	2.350	2.759
Negócios, Serviços e Outros Varejos	17.894	18.604
Veículos	2.420	2.630
Vestuário	3.708	5.100
TOTAL	55.032	63.120

Quadro 5 – Segmentos do Setor de Franquias

Fonte: ABF (2010)

Os segmentos do setor de franquias, descritos no Quadro 5, podem ainda ser subdivididos em ramos, dada a amplitude dos tipos de negócios que o setor de franquias empresariais podem envolver. A diversidade dos ramos de negócios inseridos nos segmentos (ABF, 2010) é descrita a seguir no Quadro 6.

Segmento do Setor de Franquias	Ramos de Negócios	Número de Ramos
Acessórios Pessoais e Calçados	- Bolsas, Calçados e Malas; Masculinos - Joias, Bijoux e Complementos; Óticas - Roupas e Acessórios	5
Alimentação	- Carnes e Frios; Padarias; Pizzas e Massas - Comidas Típicas e Especializadas; Restaurantes - Conveniências e Mercados; Produtos Naturais - Sanduíches & Grelhados; Variedades - Comidas Típicas e Especializadas; Bares; Pastéis - Bebidas, Distribuição e Produção; Café e Salgados - Café e outras Bebidas; Doces e Salgados; Sorvetes - Pão de Queijo	18
Educação e Treinamento	- Colégios e Cursos; Cursos Especializados	2
Esporte, Saúde, Beleza e Lazer	- Cosméticos e Perfumes; Estética; Farmácias; Lazer - Feminino; Óticas; Produtos e Serviços; Artesanato - Serviços e Produtos Especializados; Salões de Beleza - Serviços Especializados; Clínica Odontológica - Serviços Médicos e Odontológicos	13
Fotos, Gráficas e Sinalização	- Gráficas; Produtos e Serviços; Revelação Fotográfica - Sinalização e Identificação	4
Hotelaria e Turismo	- Agências de Turismo; Hotéis	2
Informática e Eletrônicos	- Serviços Especializados; Softwares e Serviços	2
Limpeza e Conservação	- Desentupidoras e Dedetização; Lavanderias - Produtos e Serviços; Serviços Especializados - Serviços de Limpeza; Artigos para o Lar	6
Móveis, Decoração, Presentes e Mobiliária	- CDs, VHS E DVDs; Lazer, Livrarias; Móveis; Presentes - Vídeos e Games; Brinquedos; Artigos para o Lar - Objetos e Produtos p/ Decoração; Móveis Planejados	10
Negócios, Serviços e Outros Varejos	- Imobiliárias; Material de Construção; Produtos e Serviços - Conveniências e Mercados; Prod. e Sist. de Segurança - Serviços e Produtos Especializados; Locação de Roupas - Serviços Especializados; Softwares e Serviços - Loja de Conveniência; Serviços Financeiros - Transporte e Distribuição de Produtos	12
Veículos	- Estacionamento; Revestimentos; Serviços Automotivos	3
Vestuário	- Feminino; Infantil, Masculino; Roupas e Acessórios - Sportwear; Unissex; Infantojuvenil	7
TOTAL		84

Quadro 6 – Ramos dos Segmentos do Setor de Franquias

Fonte: ABF (2010)

O setor de franquias, além de 12 segmentos, apresenta ainda uma subdivisão em 84 ramos, o que demonstra a abrangência e amplitude desse no país.

Nesse sentido, observa-se que o setor de franquias no Brasil consolidou-se na década de 2000, atingindo uma consistência, tanto quantitativa, em termos de faturamento, número de redes de franquias e unidades franqueadas, quanto qualitativa, em amplitude e abrangência de segmentos e ramos de negócios envolvidos. A seguir,

será discutido em maior detalhe o segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer, no qual se insere o caso estudado, a rede de franquias L'acqua di Fiori.

4.2 Apresentação do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer

O segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer é um dos mais importantes do setor de franquias no Brasil, sendo o terceiro em nível de faturamento total, como demonstrado anteriormente no Quadro 5. Assim, da mesma forma que o setor como um todo, esse segmento também sofreu uma consolidação na última década. A evolução do faturamento do segmento é apresentada a seguir no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Faturamento do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer

Fonte: ABF (2010)

Observa-se uma evolução do segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer em termos de faturamento bruto, o qual mais do que triplicou no período de 2001 a 2009, apresentando uma evolução de 203%, de 3,2 bilhões de reais em 2001 para mais de 9,8 bilhões de reais em 2009. Além da evolução do setor em termos de faturamento, ocorreu também uma evolução em termos de número de redes de franquia, demonstrada a seguir no Gráfico 5, bem como do número de unidades franqueadas, conforme demonstrado a seguir no Gráfico 6.

Gráfico 5 – Número de Redes do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer

Fonte: ABF (2010)

Gráfico 6 – Número de Unidades do Segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer

Fonte: ABF (2010)

Na mesma linha que o faturamento bruto, o número de redes de franquias empresariais no segmento ampliou-se em 245% na última década, passando de 84 redes em 2001 para 290 em 2009. A mesma lógica aplica-se ao número de unidades

franqueadas no período, a qual evoluiu de 8.340 em 2001 para 14.242 em 2009, ou seja, uma evolução de 71% no período.

Assim, pode-se argumentar que o segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer, do qual a L'acqua Di Fiori faz parte, é relevante dentro do setor de franquias empresariais no Brasil, já que, segundo ABF (2010) para o ano de 2009, esse segmento:

- a) apresentou um faturamento bruto de R\$ 9,8 bilhões, ou seja, 15,5% do total faturado por todo o setor de franquias no mesmo ano – R\$ 63,1 bilhões;
- b) apresentou um total de 290 redes de franquias, portanto 17,6% do total de 1.643 de todo o setor de franquias no mesmo período;
- c) apresentou um total de 14.242 unidades franqueadas, representando assim 17,8% do total de 79.988 unidades franqueadas no Brasil no mesmo ano.

Esses resultados indicam que o referido segmento chega, portanto, a representar quase 20% de todo o resultado obtido pelo setor de franquias no Brasil, seja em faturamento bruto, número de redes franqueadas ou unidades franqueadas, demonstrando sua relevância para o setor e sua conveniência e representatividade, como segmento da rede de franquias L'acqua di Fiori. Demonstrada assim a relevância do segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer, a seguir será discutida a relevância da rede de franquias L'acqua di Fiori em si e como objeto de estudo de caso desta pesquisa.

4.3 Apresentação e Caracterização da Rede de Franquias Empresariais L'acqua di Fiori

A rede de franquias L'acqua di Fiori foi fundada na cidade de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, no ano de 1980. Juntamente com a rede de franquias O Boticário, foi pioneira no ramo de perfumaria e cosméticos no Brasil, explorando uma forma de distribuição e crescimento inovador no país para a época de sua fundação, o modelo da franquia empresarial. Nesse período inicial, seus principais concorrentes, as empresas Avon e Natura utilizavam-se do modelo de vendas por catálogo, no qual as vendedoras não possuíam uma estrutura física de uma loja para a venda, limitando-se a

mostrar um catálogo dos produtos, eventualmente com amostras destes, mas sem o produto em si para a entrega no ato da compra.

A expansão da L'acqua di Fiori e de O Boticário como franquias, permitiu a utilização dos recursos financeiros dos franqueados para a abertura de lojas padronizadas em *shopping centers* e ruas de comércio, possibilitando a pronta entrega dos produtos ao consumidor, ao contrário da venda por catálogo e tornando-se assim uma vantagem competitiva, nesse período, para o crescimento dessas duas marcas de perfumaria e cosméticos. Esse processo de crescimento foi bem-sucedido, fazendo com que no ano de 2009 a rede O Boticário fosse a maior rede de franquias no Brasil em número de unidades franqueadas e a L'acqua di Fiori ocupasse a sexta posição nesse mesmo ranking, conforme explicitado no Quadro 7 a seguir.

Posição	Rede de Franquias	Segmento	Número de Unidades Franqueadas
1	O Boticário	Esporte, Saúde, Beleza e Lazer	2.834
2	Kumon	Educação e Treinamento	1.599
3	Colchões Ortobom	Móveis, Decoração, Presente, Mobiliária	1.414
4	McDonald's	Alimentação	1.291
5	Wizard Idiomas	Educação e Treinamento	1.246
6	L'acqua Di Fiori	Esporte, Saúde, Beleza e Lazer	1.166
7	Escolas Fisk	Educação e Treinamento	997
8	AM PM Mini Market	Negócios, Serviços e Outros Varejos	963
9	Hoken	Esporte, Saúde, Beleza e Lazer	898
10	CCAA	Educação e Treinamento	808

Quadro 7 – Ranking das Redes de Franquias no Brasil em 2009

Fonte: ABF (2010)

Assim, tanto O Boticário com 2.834 unidades franqueadas, quanto a L'acqua di Fiori com 1.166 caracterizam-se como as duas maiores redes do segmento de Esporte, Saúde, Beleza e Lazer, bem como são respectivamente a primeira e a sexta maiores redes de todo o setor de franquias.

Da mesma forma que o segmento em que está inserida, a L'acqua di Fiori consolidou-se como uma das maiores redes de franquias do Brasil nas duas últimas décadas. A seguir é apresentada a evolução da rede no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Evolução de Unidades da Rede L'acqua di Fiori

Fonte: ABF (2010) e L'acqua di Fiori (2010)

A fim de conquistar sua fatia no mercado de perfumaria e cosméticos, a L'acqua di Fiori desenvolveu mais de 300 itens vendidos em sua rede, os quais classificam-se nas seguintes categorias (L'acqua di fiori, 2010):

- perfumaria;
- aromaterapia;
- maquiagem;
- produtos para o rosto;
- produtos para o corpo;
- produtos para o cabelo;
- linha solar;
- linha infantil.

A fim de que essa gama de produtos possa ser distribuída de forma eficiente como uma cadeia de suprimentos, a L'acqua di Fiori organizou sua rede de franqueados de forma rígida, regida por um contrato de franquia empresarial, o qual impõe obrigatoriamente a governança dessa rede, liderada pelo franqueador. Assim, os principais papéis do franqueador na cadeia de suprimentos podem ser resumidos nos seguintes pontos:

a) *Relacionamento com os fornecedores da rede*: todo o relacionamento com os fornecedores da rede, quer sejam de matérias-primas, como frascos, essências,

fixadores, embalagens, ou ainda transportadoras e distribuidores ou mesmo prestadores de serviços, como agências de publicidade e advogados são de total responsabilidade do franqueador, o qual toma todas as decisões de produção, armazenagem, distribuição e mesmo comunicação da rede, as quais são repassadas aos franqueados. Assim o franqueador exerce a governança da rede, a qual não pode ser contestada pelos franqueados, por força contratual entre as partes.

b) *Produção, armazenagem e distribuição dos produtos*: da mesma forma que o relacionamento com os fornecedores da rede é monopólio do franqueador, o mesmo ocorre com as decisões de produção, armazenagem e distribuição dos produtos. A contribuição dos franqueados limita-se a fazer pedidos de produtos finais encaminhados diretamente ao franqueador, o qual é responsável por todo o desenrolar da cadeia de suprimentos, de forma própria ou terceirizada, mas sem a ingerência do franqueado. Novamente o franqueador impõe sua governança sobre a rede por força contratual.

c) *Desenvolvimento e lançamento de novos produtos*: somente o franqueador pode desenvolver e lançar novos produtos, os quais devem ser aceitos e divulgados pelos franqueados.

d) *Gerenciamento de estoques ao longo da cadeia de suprimentos*: os franqueados devem fazer pedidos de compra de produtos exclusivamente ao franqueador, conforme sua necessidade e projeção de vendas. Assim, apesar de o franqueador ser o responsável pelo gerenciamento global dos estoques da rede, o franqueado é quem administra seu estoque particular, ou seja, a quantidade de cada item estocado em sua loja. O franqueador impõe cotas de compras ao franqueado apenas nos casos de abertura de loja, a fim de garantir que este possua todos os itens da marca, e em lançamento de novos produtos, os quais são enviados automaticamente pelo franqueador, sem o pedido do franqueado, baseado na estimativa que o franqueador faz de potencial de vendas do produto e o potencial da praça de cada franqueado especificamente. Dessa forma, mesmo com o predomínio do franqueador no gerenciamento do estoque ao longo da rede, observa-se uma influência dos franqueados na distribuição desses estoques, na medida em que seu conjunto de decisões gera o estoque disponível ao consumidor final no ponto de vendas.

e) *Política de preços*: os preços de todos os produtos são fixos e determinados pelo franqueador para toda a rede, mediante tabela anual de preços de venda para as franquias e mesmo para as lojas próprias. O franqueado é proibido de vender os produtos a preço superiores aos da tabela e em caso de descontos sobre a tabela, o valor de desconto incide exclusivamente sobre a margem de contribuição do franqueado, sem afetar a margem do franqueador. Tal política tem por objetivo declarado reduzir a concorrência dentro da própria rede, visando a inibir guerras de preço entre franqueados, sendo que novamente o papel de governança cabe ao franqueador, com o ato de decidir e impor a tabela de preços padronizados.

f) *Distribuição dos lucros ao longo da rede*: o franqueador estabelece tabelas de preço de compra obrigatórias para os franqueados da mesma forma que estabelece tabela de preço de venda. Essas tabelas de preço de compra são compostas pelos custos e despesas de produção, tributos e demais gastos do franqueador acrescidos de sua margem de lucro. Além de submeter-se a tabela de preços de compra, os franqueados pagam uma taxa de *royalties* de 55,6% (ABF, 2010) sobre essa tabela de compra, a título de remuneração pelo uso da marca e cessão de tecnologia. O franqueador assim é remunerado em dois aspectos: (i) na margem de lucro embutida no preço de compra pago pelo franqueado; (ii) nos *royalties* pagos pelo franqueado. O franqueado por sua vez é remunerado mediante a apropriação do diferencial de valor entre os preços da tabela de venda e os preços da tabela de compra. Nesse contexto, o franqueador exerce a governança da rede, determinando tanto a remuneração dos franqueados, quanto sua própria remuneração.

g) *Política de comunicação*: toda a comunicação institucional, visual, sonora, bem como todo o desenvolvimento e produção de peças publicitárias, além das inserções nos meios de comunicação de massa, nacionais e regionais, são monopólio do franqueador, o qual repassa esse material ao franqueado, para que este faça um trabalho de comunicação local, na sua cidade, mas obrigatoriamente com os materiais e peças produzidos pelo franqueador. Assim este faz a comunicação de “atacado”, a mídia nacional e regional, enquanto o franqueado tem um papel complementar, fazendo a comunicação de “varejo”, seja em mídias locais na sua cidade, seja mediante a exposição da identidade visual no ponto de venda. É interessante observar ainda que mesmo sendo o franqueador o responsável pela comunicação nacional e regional, os

custos dessa comunicação recaem sobre os franqueados. Todas as campanhas nacionais e regionais conduzidas pelo franqueador são obrigatoriamente rateadas entre os franqueados, sendo, portanto, estes os custeadores de tais ações e nenhum ônus dessas campanhas recai sobre o franqueador.

No contexto da rede da L'acqua di Fiori, observa-se uma hegemonia clara do franqueador sobre os franqueados no gerenciamento da cadeia de suprimentos. O franqueador possui papel decisório em praticamente todas as atividades-chave da cadeia de suprimentos, em especial no gerenciamento dos três fluxos de tal cadeia, como discutidos no capítulo 1: os fluxos de materiais, financeiro e de informações.

Em relação ao fluxo de materiais, especialmente no caso dos produtos da marca, a predominância do franqueador é ampla, posto que este é o responsável pela produção, armazenagem, distribuição, bem pelo desenvolvimento e lançamento de produtos. Cabe aos franqueados o papel complementar de administrar os níveis de estoques no elo final da cadeia de suprimentos, os pontos de venda ao consumidor.

O fluxo financeiro também é marcado pela hegemonia do franqueador, o qual determina os preços de venda e de compra, gerenciando seus custos e despesas de produção, bem como os prazos de pagamento. Dessa forma, o franqueador determina a distribuição do lucro na rede, bem como a velocidade de circulação financeira determinada pelos prazos de pagamento disponibilizados aos franqueados. Estes desempenham um papel complementar de serem os responsáveis pelo gerenciamento de seu capital de giro e consequente solvência geral da rede.

O fluxo de informações caracteriza-se novamente pelo papel central exercido pelo franqueador, o qual possui o monopólio da comunicação com o mercado, além de ser o receptor de todos os pedidos de compra, efetuados e gerenciados por *software* específico e exclusivo licenciado pelo próprio franqueador, a fim de centralizar todas as informações da rede. Ao franqueado cabe um papel coadjuvante de captador e fornecedor das informações, além de eventualmente participar de fóruns e debates com outros franqueados da rede, para troca de experiências e aprimoramento, porém sempre sob a supervisão do franqueador.

Observa-se, assim, uma predominância e governança fortemente exercida pelo franqueador sob a cadeia de suprimentos, mediante dois fatores: (i) seu porte financeiro, técnico e gerencial, amplamente superior ao franqueado individual; (ii) a força

contratual e legal da franquia empresarial juridicamente constituída, à qual os franqueados estão submetidos.

Apesar dessa forte governança exercida pelo franqueador, a presente pesquisa encontrou evidências de aspectos da teoria do caos e complexidade nessa cadeia de suprimentos, sendo que tais evidências serão discutidas a seguir, nas próximas seções.

4.4 Estrutura Fractal na Rede L'acqua di Fiori

A fim de verificar se há evidências de estruturas fractais na rede de franquias L'acqua di Fiori, faz-se necessário primeiramente explicitar a forma de estruturação e hierarquia dessa rede.

A L'acqua di Fiori como franqueador, conforme discutido na seção anterior, exerce uma forte governança sobre a rede, determinando os padrões de produção, armazenagem, distribuição, bem como de comunicação visual, *layout* e propaganda. Assim, a fim de oferecer um modelo a seus franqueados, o franqueador possui 16 lojas próprias cujo principal objetivo é fornecer o padrão a ser seguido por toda a rede, testar campanhas e produtos, ser, portanto, uma matriz a ser copiada em menor escala pelos franqueados.

Para consolidar sua expansão, na década de 1990 a L'acqua di Fiori criou a figura do franqueado *master*, o qual é um franqueado “especial” no sentido de ser uma referência regional aos outros franqueados. Normalmente esse franqueado *master* possui a concessão da maior cidade da região, por exemplo, Campinas, São José dos Campos, Jundiaí, além de possuir diversas lojas nessas cidades, devido seu porte e população. Até o início da década do ano 2000, esses franqueados possuíam inclusive um papel de pré-seleção de novos franqueados e de suporte e treinamento regional, sendo remunerados mediante descontos especiais na tabela de preços de compra, consequentemente aumentando sua margem de lucro e assim sendo remunerados pelo serviço prestado à rede. Apesar de tal remuneração ter sido eliminada no ano de 2003, o papel dos franqueados *master* não se reduziu, continuando a ser uma referência para os outros franqueados.

Os franqueados “normais” ou padrão da rede, em geral estão situados em cidades com população de 50 a 200 mil habitantes que, portanto, comportam, com algumas exceções, apenas uma loja por cidade. As lojas são menores que as do franqueado *master*, em termos de estoques, pessoal e vendas, contudo, estrutura, *layout*,

campanhas, técnicas de vendas e treinamento são idênticos, isto é, cópias em escala menor, sendo esse, inclusive, o objetivo da franquia na transferência da tecnologia.

Em meados da década do ano 2000, a rede criou ainda a estrutura de venda por catálogo. Contudo, diferentemente de suas principais concorrentes, tais como Natura e Avon, as vendedoras por catálogo são obrigadas a fazer seus pedidos de compra aos franqueados, em vez de fazê-los diretamente ao franqueador. Tal política tem por objetivo harmonizar os canais de venda, não permitindo que a venda por catálogos concorra diretamente com as lojas franqueadas, ou seja, a venda por catálogo amplia as vendas das lojas franqueadas, pois as vendedoras por catálogo são obrigadas a adquirir os produtos diretamente destas, tornando assim os franqueados “supervisores” das vendedoras por catálogo, para as quais são orientados a prestar ajuda, suporte logístico e treinamento em produtos e técnicas de vendas.

Pode-se, assim, inferir que da mesma forma que o franqueado *master* representa um modelo a ser seguido pelos franqueados, uma referência regional da rede, os franqueados, por sua vez, representam a estrutura local, na cidade, da rede L’acqua di Fiori a fim de atender as vendedoras por catálogo, de forma análoga a sua relação com o franqueado *master*. O franqueado tem inclusive a autonomia para cadastrar e excluir vendedoras, determinar estratégias locais de vendas mais adequadas a sua cidade, bem como orientar, treinar e cobrar resultados das vendedoras. A única decisão que é imposta pelo franqueador é a margem de lucro da vendedora por catálogo, a qual obrigatoriamente não pode ser menor que 20% do valor da tabela de venda, ou seja, o franqueado é obrigado a vender os produtos da rede com um desconto mínimo de 20% sobre o preço de venda na loja, para garantir essa rentabilidade mínima à vendedora por catálogo de sua cidade.

Essa estrutura de cadeia de suprimentos da L’acqua di Fiori, considerando-se os níveis (i) franqueador; (ii) lojas próprias; (iii) franqueado *master*; (iv) franqueado; (v) vendedora por catálogo é uma estrutura que metaforicamente se assemelha a uma estrutura fractal, como demonstrado a seguir na Ilustração 15.

Ilustração 15 – Estrutura Fractal na Rede L’acqua di Fiori

Fonte: elaboração do autor, baseada na região de Campinas - SP

Observa-se que a rede da L’acqua di Fiori é construída por meio da lógica da replicação de uma mesma estrutura em níveis cada vez menores. O franqueador (nível 0) cria a estrutura-modelo para toda a rede, a qual materializa-se na forma de lojas próprias (nível 1). O franqueado *master* (nível 2) é uma cópia regional da estrutura da loja própria, servindo de exemplo concreto para os franqueados (nível 3), os quais por sua vez, representam as estruturas em nível local que dão suporte à venda por catálogos (nível 4).

Resgatando-se a definição de fractais, conforme discutido na seção 2.3.4, a geometria fractal é aquela que se forma por autossimilaridade. O termo autossimilaridade, de acordo com Mitchell (2009, p. 103) significa “forma geométrica que mantém sua estrutura intrínseca em todas as escalas” (tradução do autor).

Metaforicamente, a estrutura de rede da L'acqua di Fiori é construída por autossimilaridade: as franquias *master* são estruturas autossimilares (cópias) em menor escala das lojas próprias do franqueador; as franquias são analogamente estruturas autossimilares das franquias *master*; as vendedoras por catálogo são ainda autossimilares às franquias. Dessa forma, evidencia-se uma estrutura fractal na rede da L'acqua di Fiori.

A fim de ilustrar-se tal autossimilaridade fractal e tomando-se por imagem metafórica de fractais, a Curva de Koch, conforme descrito na seção 2.3.4, pode-se fazer uma descrição específica dessa estrutura, utilizando-se a região da cidade de Campinas-SP.

Nessa região o franqueado *master*, o qual possui a exclusividade da cidade de Campinas, possui cinco lojas: Centro, Shopping D. Pedro, Hipermercado Extra, Shopping Unimart e Hipermercado Carrefour. Essas lojas são autossimilares às lojas próprias do franqueador, em especial à loja modelo de Belo Horizonte - MG.

As lojas de Campinas, por sua vez, são modelos a serem copiados pelos franqueados das cidades da Região Metropolitana de Campinas, tais como Vinhedo, Indaiatuba, Sumaré, Hortolândia, Capivari, as quais por autossimilaridade identificam-se com as lojas de Campinas. Esses franqueados ainda possuem suas equipes de vendedoras por catálogo, levando as estruturas da rede a mais um nível, novamente por autossimilaridade.

Assim, a rede da L'acqua di Fiori na região de Campinas, como explicitado na Ilustração 15, é construída por autossimilaridade, caracterizando uma estrutura fractal. O mesmo aplica-se ao restante da rede da L'acqua di Fiori, posto que se utiliza justamente da mesma estrutura, tal como descrita para a região de Campinas.

4.5 Dinâmica Complexa na Rede L'acqua di Fiori

A dinâmica complexa, conforme discutido na seção 2.3.3, é aquela cujos resultados não são corretamente previstos pelos modelos lineares a partir de certo patamar de variabilidade.

A rede L'acqua di Fiori utiliza-se de um modelo linear, utilizado por seus franqueados para a previsão de vendas e consequentemente o dimensionamento de seus estoques. Esse modelo toma como base de cálculo o primeiro ano de operações e vendas da franquia. Para o segundo, terceiro e quarto anos de operação, estima-se um

crescimento real das vendas, descontada a inflação, da ordem de 15% ao ano. Já a partir do quinto ano em diante, um crescimento anual real de 5%.

Tomando-se por base a previsão de vendas, o franqueado tem por objetivo manter seu nível de estoque constante, ou seja, um nível razoavelmente fixo. Esse nível “ideal” fixo tem por objetivo atender de forma adequada os consumidores, para não faltar produtos em razão de estoques muito baixos, mas também não onerar excessivamente o franqueado pelos custos de carregamento de um estoque muito elevado.

Assim, o franqueado faz seus pedidos de compra, baseado nas previsões de venda do modelo linear da rede, tendo por objetivo manter seus estoques constantes. Uma vez que a previsão seja acurada, seus estoques manter-se-ão razoavelmente constantes, porém se houver divergência entre a previsão e as vendas efetivas, é sinal de que os estoques ampliaram-se ou reduziram-se de forma mais acentuada.

Essa análise deve ser feita especificamente para cada mês do ano, posto que a rede enfrenta sazonalidade nas vendas, conforme explicitado no Gráfico 8 a seguir.

Gráfico 8 – Sazonalidade de Vendas na Rede L'acqua di Fiori

Fonte: elaboração do autor, baseada em entrevistas com franqueador e franqueada selecionados

Tomando-se o mês de janeiro como base 100, nota-se que a rede de franquias, possui uma sazonalidade ligada às datas comemorativas, posto que seus produtos são

utilizados como presentes nessas datas. Portanto, tem-se basicamente duas categorias de meses:

a) *Meses comuns*: esses meses não contam com nenhuma data comemorativa significativa, sendo que suas vendas não são influenciadas por um fator de aumento nas compras para presentes. São eles: janeiro, fevereiro, março, abril, julho, setembro e outubro. Observa-se que tomando o mês de janeiro como base, as vendas desses meses situam-se em uma faixa de variação razoavelmente baixa, da ordem de 30%.

b) *Meses comemorativos*: esses meses têm suas vendas impactadas de forma significativa por compras para presentes de datas comemorativas. São eles: maio (dia das mães); junho (dia dos namorados); agosto (dia dos pais) e novembro/dezembro (Natal). Tomando-se o mês de janeiro como base, observa-se uma variação de até 250% (dezembro) nas vendas.

Segundo a teoria do caos e complexidade para ambientes razoavelmente estáveis, os modelos lineares obtêm bons resultados. Contudo, para ambientes instáveis os modelos lineares são falhos, devido à dinâmica complexa. Utilizando-se dessa lógica, aplicada à rede de franquias, é de se esperar que nos meses comuns, por serem ambientes razoavelmente estáveis de vendas, o modelo linear funcione a contento, enquanto o oposto ocorra nos meses comemorativos, por serem ambientes instáveis devido à alta variabilidade de suas vendas.

A fim de testar essa aplicação da teoria do caos e complexidade na rede L'acqua di Fiori, o presente estudo utilizou-se dos dados da franquia da cidade de Vinhedo-SP, visto essa ser considerada pelo franqueador uma franquia bem administrada e possuir um histórico de dados disponíveis desde o ano de 2002.

O teste tem por objetivo identificar ou não padrões de dinâmica complexa na variação dos estoques, ao final dos meses na franquia. A franquia utilizou-se nesse período do modelo linear de previsão de vendas descrito anteriormente, assim, a manutenção de um valor real de estoques razoavelmente constante é um indício do sucesso da previsão do modelo linear e ausência de dinâmica complexa. Por outro lado, variações significativas nos estoques finais de cada mês ao longo dos anos é um indício de falha do modelo linear e presença da dinâmica complexa.

Os valores dos estoques, para fins de análise, foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M) divulgado pela Fundação Getulio Vargas, tendo como base a data de 31 de dezembro de 2001, a fim de torná-los valores reais, posto que esse é o índice-base que o franqueador utiliza-se para o reajuste anual de sua tabela de preços. Os valores dos deflatores do IGP-M encontram-se explicitados de forma integral no Apêndice 1.

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos para cada sequência de meses de 2002 a 2009 – de janeiro a dezembro – e na seção seguinte esses resultados serão confrontados com o modelo de dinâmica complexa.

4.5.1 Resultados dos Meses de Janeiro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de janeiro de 2002 a 2009, estão a seguir na Tabela 1, bem como no Gráfico 9.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	22.789,00	1,0036	22.707,25	100,0
2003	28.553,17	1,2822	22.268,29	98,1
2004	21.932,70	1,3739	15.963,48	70,3
2005	21.226,70	1,5371	13.809,85	60,8
2006	18.548,90	1,5637	11.861,90	52,2
2007	17.812,35	1,6171	11.014,68	48,5
2008	18.794,93	1,7526	10.723,75	47,2
2009	20.287,20	1,8954	10.703,55	47,1

Tabela 1 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Janeiro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 9 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Janeiro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, redução dos estoques até o ano de 2006 e, a partir de então, certa estabilidade dos valores de estoque até o final do período analisado.

4.5.2 Resultados dos Meses de Fevereiro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de fevereiro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 2, bem como no Gráfico 10.

Ano	Estoques Nominiais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	15.345,70	1,0042	15.281,48	100,0
2003	18.482,15	1,3115	14.092,70	92,2
2004	22.652,80	1,3834	16.374,61	107,2
2005	18.481,90	1,5417	11.988,15	78,4
2006	18.919,84	1,5639	12.097,90	79,2
2007	18.493,84	1,6215	11.405,30	74,6
2008	20.168,50	1,7619	11.446,80	74,9
2009	19.679,00	1,9003	10.355,74	67,8

Tabela 2 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Fevereiro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 10 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Fevereiro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques até o ano de 2005 e, a partir de então, certa estabilidade dos valores de estoque até o final do período analisado.

4.5.3 Resultados dos Meses de Março

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de fevereiro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 3, bem como no Gráfico 11.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	32.420,18	1,0051	32.255,49	100,0
2003	30.602,40	1,3315	22.982,80	71,3
2004	31.936,90	1,3990	22.827,68	70,8
2005	34.481,90	1,5548	22.177,92	68,8
2006	33.221,35	1,5603	21.291,68	66,0
2007	35.552,68	1,6270	21.851,33	67,7
2008	39.127,00	1,7750	22.043,73	68,3
2009	40.523,00	1,8862	21.483,51	66,6

Tabela 3 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Março

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 11 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Março

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, convergência dos valores já em 2003 e, a partir de então, certa estabilidade dos valores de estoque até o final do período analisado.

4.5.4 Resultados dos Meses de Abril

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de abril de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 4, bem como no Gráfico 12.

Ano	Estoques Nominiais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	39.037,32	1,0107	38.622,72	100,0
2003	37.111,86	1,3438	27.617,41	71,5
2004	33.866,10	1,4160	23.917,23	61,9
2005	35.250,50	1,5682	22.478,95	58,2
2006	37.956,40	1,5537	24.428,99	63,3
2007	40.009,52	1,6277	24.580,75	63,6
2008	42.367,90	1,7872	23.706,05	61,4
2009	44.890,70	1,8834	23.834,83	61,7

Tabela 4 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Abril

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 12 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Abril

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques até o ano de 2004 e, a partir de então, certa estabilidade dos valores de estoque até o final do período analisado.

4.5.5 Resultados dos Meses de Maio

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de maio de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 5, bem como no Gráfico 13.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	32.326,72	1,0191	31.720,12	100,0
2003	34.546,70	1,3403	25.775,52	81,3
2004	22.817,20	1,4345	15.905,81	50,1
2005	35.712,00	1,5647	22.823,46	72,0
2006	29.970,56	1,5596	19.216,23	60,6
2007	38.510,13	1,6283	23.650,11	74,6
2008	26.789,30	1,8160	14.751,87	46,5
2009	44.126,70	1,8821	23.445,59	73,9

Tabela 5 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Maio

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 13 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Maio

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, uma instabilidade dos estoques desde o início do período, não se identificando nenhum período de estabilidade.

4.5.6 Resultados dos Meses de Junho

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de junho de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 6, bem como no Gráfico 14.

Ano	Estoques Nominiais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	26.321,12	1,0348	25.435,50	100,0
2003	21.266,50	1,3269	16.027,35	63,0
2004	25.817,20	1,4543	17.752,12	69,8
2005	29.770,00	1,5578	19.110,02	75,1
2006	15.684,20	1,5713	9.981,38	39,2
2007	18.519,46	1,6326	11.343,80	44,6
2008	38.947,20	1,8520	21.030,37	82,7
2009	29.204,60	1,8802	15.532,65	61,1

Tabela 6 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Junho

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 14 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Junho

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques desde o início do período, não se identificando nenhum período de estabilidade.

4.5.7 Resultados dos Meses de Julho

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de julho de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 7, bem como no Gráfico 15.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	28.967,82	1,0550	27.457,73	100,0
2003	30.416,00	1,3213	23.019,49	83,8
2004	43.602,00	1,4734	29.593,42	107,8
2005	42.964,90	1,5525	27.674,21	100,8
2006	42.963,25	1,5742	27.292,56	99,4
2007	44.183,50	1,6371	26.988,34	98,3
2008	48.567,00	1,8845	25.771,22	93,9
2009	46.899,20	1,8721	25.051,35	91,2

Tabela 7 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Julho

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 15 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Julho

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques até o ano de 2005 e, a partir de então, certa estabilidade dos valores de estoque até o final do período analisado.

4.5.8 Resultados dos Meses de Agosto

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de agosto de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 8, bem como no Gráfico 16.

Ano	Estoques Nominiais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	21.604,22	1,0795	20.013,67	100,0
2003	28.688,50	1,3263	21.629,88	108,1
2004	27.133,70	1,4913	18.194,14	90,9
2005	34.684,40	1,5424	22.486,81	112,4
2006	21.342,94	1,5800	13.508,20	67,5
2007	24.016,91	1,6532	14.527,73	72,6
2008	35.567,80	1,8785	18.934,01	94,6
2009	26.750,30	1,8654	14.340,38	71,7

Tabela 8 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Agosto

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 16 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Agosto

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques desde o início do período, não se identificando nenhum período de estabilidade.

4.5.9 Resultados dos Meses de Setembro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de setembro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 9, bem como no Gráfico 17.

Ano	Estoques Nominiais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	20.761,02	1,1054	18.781,79	100,0
2003	23.486,10	1,3420	17.500,99	93,2
2004	23.827,10	1,5016	15.867,45	84,5
2005	31.413,00	1,5343	20.474,39	109,0
2006	21.759,97	1,5846	13.732,32	73,1
2007	32.776,02	1,6745	19.573,58	104,2
2008	36.789,00	1,8806	19.562,58	104,2
2009	40.322,30	1,8732	21.525,69	114,6

Tabela 9 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Setembro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 17 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Setembro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, certa estabilidade dos estoques de 2002 a 2004, seguida por instabilidade de 2005 a 2007 e um novo período de estabilidade de 2007 a 2009.

4.5.10 Resultados dos Meses de Outubro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de outubro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 10, bem como no Gráfico 18.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	24.495,82	1,1482	21.334,87	100,0
2003	35.451,70	1,3471	26.317,31	123,4
2004	25.755,40	1,5075	17.084,96	80,1
2005	24.463,00	1,5435	15.849,41	74,3
2006	20.351,55	1,5920	12.783,41	59,9
2007	28.593,38	1,6921	16.898,31	79,2
2008	34.990,34	1,8990	18.425,57	86,4
2009	37.133,50	1,8742	19.813,47	92,9

Tabela 10 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Outubro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 18 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Outubro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques de 2002 a 2004, seguida por certa estabilidade de 2005 a 2009, com exceção de 2006.

4.5.11 Resultados dos Meses de Novembro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de novembro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 11, bem como no Gráfico 19.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	39.220,72	1,2077	32.474,26	100,0
2003	54.329,10	1,3537	40.134,16	123,6
2004	74.352,40	1,5199	48.920,84	150,6
2005	110.789,00	1,5496	71.493,48	220,2
2006	89.432,10	1,6040	55.756,77	171,7
2007	128.379,52	1,7038	75.350,69	232,0
2008	94.876,90	1,9062	49.772,11	153,3
2009	109.576,00	1,8760	58.408,50	179,9

Tabela 11 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Novembro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 19 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Novembro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques desde o início do período, não se identificando nenhum período de estabilidade.

4.5.12 Resultados dos Meses de Dezembro

Os resultados obtidos para o comportamento dos estoques nos meses de novembro de 2002 a 2009, estão apresentados a seguir na Tabela 12, bem como no Gráfico 20.

Ano	Estoques Nominais (R\$)	Fator IGP-M	Estoques Reais (R\$)	Base 100
2002	30.747,17	1,2530	24.538,09	100,0
2003	13.026,90	1,3619	9.564,93	39,0
2004	35.458,80	1,5311	23.159,06	94,4
2005	25.496,80	1,5495	16.455,04	67,1
2006	36.466,07	1,6091	22.662,38	92,4
2007	16.932,63	1,7337	9.766,50	39,8
2008	24.790,00	1,9037	13.021,68	53,1
2009	32.478,00	1,8712	17.357,23	70,7

Tabela 12 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Dezembro

Fonte: elaboração do autor

Gráfico 20 – Comportamento dos Estoques dos Meses de Dezembro

Fonte: elaboração do autor

Observa-se nos resultados obtidos, tomando-se por base o ano inicial de 2002, instabilidade dos estoques desde o início do período, não se identificando nenhum período de estabilidade.

4.5.13 Análise dos Resultados

Tomando-se os resultados obtidos dos estoques para os conjuntos de meses, ou seja, janeiro, fevereiro, março, subsequentemente até dezembro, no período de 2002 a 2009, surgem três padrões de comportamento:

- a) *Convergência*: após um período inicial de instabilidade, explicado pelo aprendizado sobre o mercado e o modelo linear de previsão de vendas, os valores dos estoques convergem para certo patamar.
- b) *Dinâmica complexa*: não há nenhuma convergência clara do valor dos estoques, indicando assim uma instabilidade crônica, ou seja, uma dinâmica complexa.
- c) *Indefinição*: períodos de relativa estabilidade alternam-se com períodos de relativa instabilidade, não permitindo assim sua classificação como convergência nem como dinâmica complexa.

A teoria do caos e complexidade prevê que os períodos de convergência ocorrem, quando há baixa instabilidade no mercado, tornando o modelo linear uma boa aproximação da realidade. Resgatando-se a seção 2.3.3, temos como ilustração deste fenômeno a Equação 2.1:

$$X_{\text{prox}} = r X (1 - X) \quad \text{Equação 2.1}$$

Na qual:

X: é a população de um dado período;

X_{prox}: é a população do período seguinte a X;

r: é a taxa de crescimento populacional.

Utilizando-se de uma comparação entre a Equação 2.1 e o comportamento dos estoques da L'acqua di Fiori, pode-se argumentar que o fator “r”, ou seja, a taxa de crescimento populacional do modelo linear, pode ser interpretada no caso estudado como a taxa de sazonalidade no período.

Assim, da mesma forma que uma taxa de crescimento populacional “r” baixa leva a uma convergência do número de indivíduos da população na Equação 2.1, no caso da L'acqua di Fiori, uma taxa de sazonalidade “r” baixa deverá levar a uma convergência nos valores dos estoques da franquia, posto que o modelo linear, em baixa instabilidade, funciona razoavelmente bem. Por outro lado, na Equação 2.1, uma taxa de crescimento populacional “r” alta leva à dinâmica complexa, sendo que o mesmo é esperado para a L'acqua di Fiori em relação a um “r” de sazonalidade alto.

A seguir, serão comparadas essas previsões da teoria do caos e complexidade com os resultados obtidos pelo estudo de caso, a fim de observar-se sua correspondência ou não.

4.5.13.1 Períodos de Convergência

A teoria do caos e complexidade argumenta que modelos lineares conseguem prever o comportamento de sistemas não complexos, ou seja, sistemas com baixa instabilidade. A fim de ilustrar tal conceito, resgata-se a Ilustração 6, da seção 2.3.3:

Ilustração 6 – Dinâmica Complexa – População Estável

Fonte: Adaptada de Gleick (2008) e Mitchell (2009)

Nessa ilustração, após certo período inicial de instabilidade, o modelo linear converge para um determinado valor. No estudo de caso realizado por esta pesquisa, esse comportamento é apresentado nos seguintes meses, ilustrados no Gráfico 21:

Gráfico 21 – Resultados de Convergência

Fonte: elaboração do autor

Os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e julho apresentam um padrão de convergência após certo período inicial de instabilidade, conforme explicitado pela Ilustração 6.

4.5.13.2 Períodos de Dinâmica Complexa

A teoria do caos e complexidade prediz que modelos lineares não conseguem prever o comportamento de sistemas com alto grau de instabilidade, ou seja, os modelos lineares não conseguem fazer convergir os resultados, transformando-os em uma dinâmica complexa. De forma a ilustrar tal conceito, resgata-se a Ilustração 8, da seção 2.3.3:

Ilustração 8 – Dinâmica Complexa – População Caótica

Fonte: Adaptado de Gleick (2008) e Mitchell (2009)

Nessa ilustração, mesmo após certo período inicial, não há convergência do modelo linear para um determinado valor. Na verdade, o contrário ocorre: um conjunto cada vez mais caótico de dados. No estudo de caso realizado por esta pesquisa, esse comportamento é apresentado nos seguintes meses, contidos no Gráfico 22:

Gráfico 22 – Resultados de Dinâmica Complexa

Fonte: elaboração do autor

Os meses de maio, junho, agosto, novembro e dezembro apresentam um padrão de dinâmica complexa, conforme explicitado pela Ilustração 8.

4.5.13.3 Períodos de Indefinição

Em relação aos dados coletados, observam-se ainda dois períodos de indefinição: os meses de setembro e outubro. Nesses meses, não foi possível identificar o padrão de convergência, nem o padrão de dinâmica complexa, posto que alternam ciclos de relativa instabilidade com outros de relativa estabilidade. Tais resultados são demonstrados a seguir no Gráfico 23.

Gráfico 23 – Resultados Indefinidos

Fonte: elaboração do autor

Os meses de setembro apresentam um comportamento inicial de estabilidade seguido por uma instabilidade nos anos de 2004 a 2007, atingindo então uma nova estabilidade a partir deste ano. Os meses de outubro apresentam um comportamento similar, com instabilidade nos anos de 2002 a 2004, seguido por um período de estabilidade, com exceção do ano de 2006.

Assim, esses meses configuram-se como períodos de indefinição não se enquadrando em convergência nem em dinâmica complexa.

4.5.13.4 Comparação dos Resultados com a Teoria

A fim de poder-se estabelecer, ainda que de forma qualitativa, o sucesso de aplicação da teoria do caos e complexidade ao estudo de caso, elaborou-se um resumo dos resultados na forma do Quadro 8 a seguir:

Meses de (2002 a 2009)	Tipo do mês	Sazonalidade (Janeiro = 100)	Sazonalidade (alta / baixa)	Resultado previsto pela Teoria do Caos	Resultado obtido	O resultado obtido foi o mesmo que o previsto pela Teoria do Caos?
Janeiro	Comum	100	Baixa	Convergência	Convergência	SIM
Fevereiro	Comum	110	Baixa	Convergência	Convergência	SIM
Março	Comum	130	Baixa	Convergência	Convergência	SIM
Abril	Comum	120	Baixa	Convergência	Convergência	SIM
Maio	Comemorativo	250	Alta	Dinâmica Complexa	Dinâmica Complexa	SIM
Junho	Comemorativo	210	Alta	Dinâmica Complexa	Dinâmica Complexa	SIM
Julho	Comum	120	Baixa	Convergência	Convergência	SIM
Agosto	Comemorativo	190	Alta	Dinâmica Complexa	Dinâmica Complexa	SIM
Setembro	Comum	120	Baixa	Convergência	Indefinido	NÃO
Outubro	Comum	130	Baixa	Convergência	Indefinido	NÃO
Novembro	Comemorativo	180	Alta	Dinâmica Complexa	Dinâmica Complexa	SIM
Dezembro	Comemorativo	350	Alta	Dinâmica Complexa	Dinâmica Complexa	SIM

Quadro 8 – Resultados Comparados com a Teoria do Caos

Fonte: elaboração do autor

Assim, observa-se que no período estudado, ou seja, de janeiro a dezembro dos anos de 2002 a 2009, os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, julho, setembro e outubro são caracterizados como meses “comuns” com relativamente baixa sazonalidade. O inverso ocorre com os meses de maio, junho, agosto, novembro e dezembro, os quais são meses “comemorativos”, ou seja, possuem datas festivas como dia das mães, dia dos pais, dia dos namorados e natais, que ampliam significativamente sua sazonalidade em relação aos meses comuns.

Aplicando-se a teoria do caos e complexidade a esses meses, a referida teoria prevê que os meses comuns, logo de baixa sazonalidade, devem apresentar uma dinâmica simples, adequada ao modelo linear utilizado pela L’acqua di Fiori, consequentemente fazendo seus valores obterem um processo de convergência. Em relação aos meses comemorativos, tal fato não ocorre, devido sua alta sazonalidade, levando a um processo de dinâmica complexa.

Comparando-se a previsão da teoria do caos e complexidade com os resultados obtidos, há o acerto do comportamento em todos os meses, com exceção de setembro e outubro. Assim pode-se argumentar que a teoria aplicou-se de forma correta em dez de doze períodos estudados.

Os resultados obtidos, assim, indicam, de forma qualitativa, que a aplicação da teoria do caos e complexidade, em seu desdobramento de dinâmica complexa, obteve concordância na maioria dos casos, podendo enriquecer o conhecimento acerca desse fenômeno.

4.6 Efeito Borboleta na Rede L'acqua di Fiori

A dependência hipersensível das condições iniciais, mais conhecida como efeito borboleta, conforme discutido na seção 2.3.1, estabelece que em modelos não lineares, pequenas variações nas condições iniciais podem levar a consequências imprevisíveis a longo prazo.

A presente pesquisa tentou aplicar esse conceito ao lançamento de novos produtos, em especial perfumes e cosméticos. Nas entrevistas realizadas, tanto com o franqueador, quanto com franqueados, notaram-se variações em relações a diversos lançamentos, sendo citado em especial o caso do perfume Vólgere, o qual foi lançado em campanha publicitária que explorava a imagem da atriz Maria Fernanda Cândido. Contudo, o percentual 20% superior em termos de vendas apresentado pelo franqueador como resultado do Vólgere em relação à média dos demais lançamentos de perfumes não chega a caracterizar-se como um efeito borboleta.

Pode-se assim argumentar que, conforme esperado, existem diferenças nos lançamentos dos produtos da rede devido a pequenos fatores, como por exemplo, a atriz escolhida para a campanha publicitária, contudo tal efeito não chega a ser tão significativo, a ponto de caracterizar-se como uma dependência hipersensível das condições iniciais.

Assim, o presente trabalho não identificou a presença do efeito borboleta no estudo de caso da L'acqua di Fiori.

4.7 Atratores Estranhos na Rede L'acqua di Fiori

Os atratores estranhos, conforme discutido na seção 2.3.2, são um esforço de geometrização da análise de uma evolução temporal, a qual nesse caso apresenta um comportamento complexo ou “estranho”. Na seção 2.4.2, discutiu-se um caso específico de atrator estranho a ser aplicado à cadeia de suprimentos, o atrator de Fine-Lorenz. Dessa forma, a presente pesquisa investigou sua possível aplicação no estudo de caso da L'acqua di Fiori e de forma mais geral, no ramo de negócio de perfumes e cosméticos como definido pela ABF (2010).

Analisando-se a evolução histórica, tanto na rede L'acqua di Fiori quanto no ramo de negócios de perfumes e cosméticos, de acordo com as entrevistas realizadas com o franqueador, não se observa nenhum processo significativo de integração vertical

ou horizontal ocorrida desde o início das redes (fins da década de 1970 e início da década de 1980). Não houve movimentos de aquisição de fornecedores ou fusões entre as grandes redes do setor, em especial L'acqua di Fiori e O Boticário. Na verdade, observa-se uma relativa estabilidade nos relacionamentos, tanto com os fornecedores, quanto das redes entre si, as quais cresceram basicamente de forma orgânica, sem grandes fusões ou aquisições.

Dessa forma, o presente trabalho não identificou a existência de um atrator de Fine-Lorenz na rede da L'acqua di Fiori, nem no ramo de negócios ao qual essa rede pertence.

Apresentados assim os resultados obtidos por este estudo, a seguir no capítulo 5, serão discutidas as considerações finais acerca da presente pesquisa.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, objetivou-se aplicar os conceitos oriundos da teoria do caos e complexidade à gestão das cadeias de suprimentos. A justificativa para tal objetivo é duas ordens: (i) a relevância que o tema tem adquirido no contexto contemporâneo dos negócios, na medida em que as organizações têm-se tornado cada vez mais complexas e o ambiente de negócios, mais imprevisível, o que justifica novas abordagens, e em especial, a teoria do caos e complexidade; (ii) a literatura acadêmica acerca do tema é abundante na área das ciências naturais, contudo ainda é incipiente na área da administração.

A proposta desta pesquisa buscava responder, conforme delimitado na seção 1.3, a seguinte questão básica: “As ideias e os conceitos da teoria do caos e complexidade podem enriquecer o estudo da gestão de cadeias de suprimentos?”

A fim de contextualizar e orientar a pesquisa, selecionaram-se, de todo o arcabouço teórico que compõe a teoria do caos e complexidade, quatro possíveis aplicações à gestão da cadeia de suprimentos, a saber: (i) fractais; (ii) dinâmica complexa; (iii) dependência hipersensível das condições iniciais – efeito borboleta; (iv) atratores estranhos.

Para responder a questão de pesquisa, utilizou-se o método do estudo de caso, selecionando-se a rede de franquias empresariais L’acqua di Fiori para as quatro aplicações escolhidas da teoria do caos e complexidade.

Dado esse breve resgate dos principais tópicos deste trabalho, a seguir serão feitas as considerações finais acerca do método de pesquisa, dos resultados obtidos, bem como das limitações deste estudo e das sugestões para pesquisas futuras.

5.1 Considerações sobre o Método de Pesquisa

O método do estudo de caso mostrou-se adequado à proposta deste trabalho, bem como para responder a questão básica de pesquisa. Tal método, em sua abordagem qualitativa, permitiu uma análise em maior profundidade dos elementos da teoria do caos e complexidade em sua aplicação à gestão da cadeia de suprimentos, algo que seria dificultado por meio de pesquisa quantitativa, a qual teria por objetivo majoritariamente obter generalizações estatísticas. Nesse sentido, pode-se argumentar, portanto, que o

método foi adequado aos objetivos da pesquisa, em especial quando comparado a sua alternativa quantitativa.

Em relação à validade e abrangência dos constructos teóricos que foram aplicados à gestão da cadeia de suprimentos – fractais; dinâmica complexa; efeito borboleta e atratores estranhos –, tais conceitos estão fundamentados em um arcabouço das ciências naturais, em especial da física, química, biologia e ecologia, bem como em uma ampla gama de aplicações que vão além das ciências citadas, incorporando-se à meteorologia, astronomia e mesmo à economia. Assim, dada sua vasta abrangência e solidez teórica, é válido argumentar que tal arcabouço é apropriado e relevante também para aplicações no campo da administração e consequentemente na gestão das cadeias de suprimentos.

Quanto à validade interna, os elementos da teoria do caos e complexidade, ou seja, os padrões teóricos, foram pesquisados utilizando-se do formato de uma variável binária – sim ou não – para a verificação ou não de sua correspondência com os dados empíricos obtidos pelo estudo. Tal correspondência foi apresentada no Quadro 6, no capítulo 4. Dessa forma, esse cruzamento entre padrões teóricos e dados empíricos, em seu conjunto, tiveram por função buscar garantir a validade interna do presente estudo.

Quanto à confiabilidade da pesquisa, houve a definição específica dos elementos da teoria do caos e complexidade a serem analisados, definição esta realizada previamente à coleta de dados, complementada com a triangulação das informações e pela documentação interna e externa. Tais procedimentos foram ainda corroborados por entrevistas com o franqueador e alguns franqueados selecionados neste trabalho.

Tomados esses cuidados, acredita-se que outro pesquisador, que venha a repetir os mesmos procedimentos, provavelmente obtenha os mesmos resultados deste estudo, garantindo confiabilidade, do ponto de vista qualitativo, à presente pesquisa.

Assim, pode-se argumentar que a escolha do método, de forma geral – estudo de caso qualitativo – foi adequada, posto que permitiu a necessária profundidade requerida pelo objetivo da pesquisa, e de forma específica, também foi adequada, considerando-se que as questões relativas à validade, abrangência e confiabilidade da pesquisa foram adequadamente equacionadas e tratadas na estruturação e condução do presente estudo.

5.2 Considerações sobre os Resultados Obtidos

A fim de refletir-se sobre os resultados e contribuições de uma pesquisa, qualquer que seja sua natureza, faz-se necessário pesar seus objetivos e métodos em relação a seus resultados e registrar o que se pode evidenciar, ou não, de tais comparações.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou primariamente pesquisar se a teoria do caos e complexidade poderia enriquecer a compreensão da gestão das cadeias de suprimentos, conforme explicitado na seção 1.3. Para tanto, utilizou-se de um método de pesquisa qualitativo, buscando assim aprofundamento no tema e evidências de tal teoria no estudo de caso selecionado. A fim de tornar tal aprofundamento operacional, aplicaram-se conceitos específicos da teoria – fractais; dinâmica complexa; efeito borboleta e atratores estranhos. Assim, a discussão acerca da contribuição da teoria do caos e complexidade ao enriquecimento do entendimento da gestão das cadeias de suprimentos, no âmbito desta pesquisa e de seu escopo, deve ser avaliada mediante os resultados obtidos no estudo de caso, em relação a esses conceitos específicos. De forma a direcionar tal discussão, apresenta-se a seguir o Quadro 9, que resume os principais resultados obtidos neste estudo.

Conceito da teoria do caos e complexidade	Área pesquisada do conceito no estudo de caso	Há evidências do conceito no estudo de caso ?	Há motivos para acreditar-se em uma aplicação mais ampla do conceito no setor ?
Fractais	Configuração da rede de distribuição	SIM	SIM
Dinâmica complexa	Gestão de estoques dos franqueados	SIM	SIM
Efeito borboleta	Resultado de lançamento de novos produtos	NÃO	NÃO
Atratores estranhos	Atrator de Fine-Lorenz na cadeia de suprimentos	NÃO	NÃO

Quadro 9 – Resumo dos Principais Resultados Obtidos

Fonte: elaboração do autor

Os resultados obtidos foram divididos, para fins de considerações específicas, nos conceitos operacionais da teoria do caos e complexidade aplicados nesta pesquisa.

Em relação ao conceito de fractais, a pesquisa detectou sua presença, de forma metafórica, no estudo de caso, ou seja, a rede de franquias da L'acqua di Fiori basicamente estrutura-se de forma fractal. Uma vez que as franquias empresariais possuem formatos estruturais muito semelhantes, é provável a presença de estruturas fractais também em outras redes de franquias. Logo, há motivos para acreditar-se em uma aplicação mais ampla desse conceito no setor de franquias, para além do estudo de caso aqui explorado.

O conceito de dinâmica complexa foi aplicado à gestão dos estoques dos franqueados da rede L'acqua di Fiori, obtendo-se evidências de que em períodos de forte sazonalidade, ocorre tal fenômeno. O estudo de caso apresentou assim evidências desse conceito. Posto que as previsões de demanda e estoque, para o varejo de uma forma geral, são feitas mediante modelos lineares, de forma semelhante à rede estudada, e que diversos setores apresentam fatores sazonais, tal como no estudo de caso, há motivos para esperar-se que o conceito de dinâmica complexa também tenha uma aplicação mais ampla que no caso estudado, como o conceito de fractais.

O efeito borboleta aplicado ao lançamento de novos produtos da L'acqua di Fiori não foi identificado no estudo de caso realizado. Assim, a princípio, não há motivos para acreditar-se em uma aplicação mais ampla do conceito. Apesar de ter sido identificada certa variação nos lançamentos de novos produtos, cujo caso mais exemplar foi o do perfume Vólgere, sua intensidade, da ordem de 20%, é insuficiente para caracterizar o efeito borboleta.

Em relação aos atratores estranhos, especificamente o atrator de Fine-Lorenz, esse conceito foi estudado ao longo da evolução histórica da rede de franquias, entretanto não foi identificado em nenhum período, logo não há evidências deste no estudo de caso. A explicação mais provável para sua ausência é composta por dois fatores: (i) o ramo de franquias de perfumes e cosméticos apresenta baixa velocidade de mudanças; (ii) as principais redes de franquias de perfumes e cosméticos no Brasil são relativamente recentes, remontando não mais que 30 anos de existência. Essa conjunção de fatores, ou seja, um ramo de baixa velocidade aliado a redes com relativo pouco tempo de existência explicaria a inexistência de integrações verticais e horizontais significativas, tanto no estudo de caso, quanto no ramo como um todo. Assim tanto na rede L'acqua di Fiori, como no ramo de franquias de perfumes e cosméticos não é de esperar-se que se encontrem evidências empíricas de atratores estranhos no período

atual. Tal consideração, contudo, poderá ser alterada no futuro, quando o ramo possuir uma existência mais longa.

Considerando-se, assim, a questão central desta pesquisa, e levando-se em conta os resultados obtidos, pode-se argumentar que há evidências, pelo menos parciais, de que a teoria do caos e complexidade pode sim ser relevante para a gestão das cadeias de suprimentos. Dos quatro conceitos estudados, há evidências da presença de dois deles – fractais e dinâmica complexa – na cadeia de suprimentos estudada, bem como motivos para acreditar-se em uma aplicação destes conceitos no setor.

Assim, do ponto de vista qualitativo, a presente pesquisa encontrou evidências da teoria do caos e complexidade nas cadeias de suprimentos, acreditando, portanto, ter contribuído, em alguma medida, para a discussão do tema proposto. Esta pesquisa, como qualquer outra, apresenta limitações, ao mesmo tempo em que sugere alguns possíveis caminhos de pesquisa futuros. Esses dois tópicos finais serão explorados a seguir.

5.3 Limitações da Pesquisa e Sugestão para Futuros Estudos

O presente estudo possui algumas limitações. Uma delas é diretamente decorrente do método de pesquisa escolhido: ao selecionar-se uma abordagem qualitativa, a qual possibilita o aprofundamento do estudo, perde-se a possibilidade de uma maior abrangência quantitativa. Essa limitação, portanto, refere-se à incapacidade da presente pesquisa poder ser generalizada estatisticamente como relevante para diversos setores ou empresas.

Uma segunda limitação refere-se à dificuldade de incorporar diretamente conceitos oriundos das ciências naturais, em especial da física, química e biologia às ciências sociais aplicadas como a administração. Assim os conceitos da teoria do caos e complexidade, cuja aplicação é direta nas ciências naturais, têm de ser incorporados à administração e gestão de cadeias de suprimentos de forma indireta, como neste estudo, o qual foi realizado de forma metafórica (fractais) e gráfica (dinâmica complexa). Nesse sentido, a limitação é que esses conceitos, rígidos nas ciências naturais, têm de tornar-se mais maleáveis nas ciências sociais aplicadas, correndo-se o risco de certo grau de subjetividade em sua aplicação.

Uma restrição adicional refere-se ao objeto de estudo, ou seja, as cadeias de suprimentos. Apesar de agregarem-se sob um mesmo conceito, há significativas

diferenças entre cadeias de suprimentos de diferentes setores. Tais diferenças são de diversas ordens, dentre as quais se destacam seu grau de governança, sua coesão interna, número e relevância de participantes, velocidade de fluxo, arranjos entre seus elos e capacidade econômico-financeira. Dessa forma, o conceito de cadeia de suprimentos envolve uma grande variedade de tipos e formas de organizações. A limitação desta pesquisa, nesse quesito, refere-se justamente a essa abrangência: o estudo de caso não é amplo o suficiente para contemplar todas essas diferentes possibilidades, sendo, portanto, restrito ao ramo da rede de franquias escolhido.

Assim, cabe indicar algumas linhas de pesquisa para o futuro. Uma primeira linha de pesquisa seria a utilização de estudos de caso múltiplos para as aplicações da teoria do caos e complexidade, em diversos setores e diferentes cadeias de suprimentos, a fim de minimizar-se a limitação da diversidade inerente ao conceito de cadeia de suprimentos.

Outra linha de pesquisa seria a utilização de técnicas quantitativas, em especial de métodos de estatística multivariada, com amostras setoriais probabilísticas, como forma de mitigar a limitação referente à generalização dos conceitos da teoria do caos e complexidade.

Ainda uma linha de pesquisa adicional seria o estudo de setores de velocidade de mudanças altas e de setores com séries temporais mais amplas disponíveis, de forma a permitir o estudo do surgimento ou não de atratores estranhos, como o atrator de Fine-Lorenz, os quais não puderam ser diretamente identificados nos dados empíricos do presente trabalho.

Este estudo buscou aplicar conceitos da teoria do caos e complexidade, já plenamente consolidados nas ciências naturais, mas ainda incipientes nas ciências sociais aplicadas, à administração em especial para o enriquecimento do entendimento da gestão das cadeias de suprimentos. Considerando-se que esta teoria é particularmente relevante para ambientes complexos e instáveis, e que as tendências atuais de busca pela competitividade e globalização apontam que o ambiente de negócios tende a tornar-se cada vez mais complexo e imprevisível, o aprofundamento do estudo da teoria do caos e complexidade no campo da administração parece ser um caminho válido para os futuros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

- ANDERY, Maria A. et al. **Para compreender a ciência**. São Paulo: Educ, 2004.
- ANSELMO, Estevão. **Modelo de gestão não linear**: a teoria do caos e complexidade aplicada à gestão de empresas de alto crescimento em ambientes dinâmicos e imprevisíveis. Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Tese de Doutorado, 2005.
- ARANHA, Maria L. A; MARTINS, Maria H. P. **Filosofando** – introdução à filosofia. São Paulo: Moderna, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FRANCHISING – ABF. **Guia oficial de franquias 2009**. São Paulo: Lamonica, 2009.
- _____. **Portal do franchising**. Disponível em: <<http://www.abf.com.br>>. Acesso em: abr. 2010.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BASS, Thomas A. **Os profetas de Wall Street** – como um grupo de físicos ousados usou a teoria do caos para fazer fortuna. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- BOLMAN, Lee G.; DEAL, Terrence E. **Reframing organizations** – artistry, choice and leadership. San Francisco: Jossey-Bass, 2003.
- BORGADUS, E. The group interview. **Journal of Applied Sociology**, v. 10, pp. 372-382, 1926.
- BORGATTI NETO, Ricardo. **Perspectivas da complexidade aplicadas à gestão de empresas**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Tese de Doutorado, 2008.

BOWERSOX, Donald J. et al. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial – o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2009.

CALDER, B. J. Focus group and the nature of qualitative marketing research. **Journal of Marketing Research**, v. 14, pp. 353-364, ago. 1977.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Pearson, 2006.

CUTTS, Robert L. Capitalism in Japan: cartels and keiretsus. **Harvard Business Review**, n. 4, v. 70, p. 68, jul./ago. 1992.

DEMO, Pedro. **Introdução à metodologia da ciência**. São Paulo: Atlas, 1991.

Edward N. Lorenz (1917-2008) – meteorologist and father of chaos theory. **Nature**, v. 453, p. 300, maio 2008.

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE – FEA/USP. **Manual para formatação e edição de dissertações e teses**. São Paulo: 2004.

FEYERABEND, Paul K. **Contra o método**. São Paulo: Unesp, 2007.

FINE, Charles. **Clockspeed – winning industry control in the age of temporary advantage**. New York: Perseus Books, 1998.

_____. Clockspeed-based strategies for supply chain design. **Production and Operations Management**, v. 9, n. 3, 2000.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FORRESTER, J. Industrial dynamics. **Harvard Business Review**, n. 36, jul./ago. 1958.

FRASER, C.; RESTROPO-ESTRADA, S. Focus group discussion in development work. **The Journal of Development Communication**, v. 9, n. 1, pp. 68-84, 1998.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV. **Dados sobre o Índice Geral de Preços de Mercado – IGP-M**. Disponível em: <<http://www.fgv.br>>. Acesso em: abr. 2010.

GIANNAKIS, M.; CROOM, S. R. Toward the development of a supply chain management paradigm: a conceptual framework. **The Journal of Supply Chain Management**, 2004.

GLADWELL, Malcolm. **O ponto da virada**: como pequenas coisas podem fazer uma grande diferença. Rio de Janeiro: Sextante, 2009.

GLEICK, James. **Chaos**: making a new science. New York: Penguin Books, 2008.

GLEISER, Ilan. **Caos e complexidade**: a evolução do pensamento econômico. Rio de Janeiro, Campus, 2002.

GODOI, Christiane K. et al. **Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais – paradigmas, estratégias e métodos**. São Paulo: Saraiva, 2007.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, pp. 57-63, mar./abr. 1995.

GREENBAUM, T. L. **The handbook for focus group research**. New York: Lexington Books, 1993.

GREENE, Brian. **O universo elegante**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

HAMPTON, David. R. **Administração contemporânea**. São Paulo: Makron Books, 2002.

HWARNG, H. B.; XIE, N. Understanding supply chain dynamics: a chaos perspective. **European Journal of Operational Research**, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dados sobre o PIB brasileiro**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: abr. 2010.

ISAACSON, Walter. **Einstein** – sua vida, seu universo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

KAKU, Michio. **Physics of the impossible**. New York: Anchor Books, 2009.

_____. **Hiperespaço**. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

KAUFFMAN, S. A. **At home in the universe**: the search for the laws of self-organization and complexity. Oxford: Oxford University Press, 1995.

KESTER, W. C. **A invasão japonesa**: a disputa mundial pelo controle das empresas e corporações em todo o mundo. São Paulo: Makron Books, 1993.

KIDA, Thomas. **Não acredite em tudo o que você pensa**. São Paulo: Elsevier, 2007.

KRUEGER, R. A.; CASEY, M. A. **Focus group**: a practical guide for applied research. London: Sage, 2000.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2003.

L'ACQUA DI FIORI. **Informações institucionais**. Disponível em: <<http://www.lacquadifiori.com.br>>. Acesso em: mar. 2010.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina A. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1983.

_____. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2001.

LEE, H. L. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. **Management Science**, v. 50, n. 12, dez. 2004.

LEVENSON, Thomas. **Einstein em Berlim**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2003.

MAY, Robert M. Simple mathematical models with very complicated dynamics. **Nature**, v. 261, pp. 459-467, jun. 1976.

MERTON, R. K. et al. **The focused interview**: a manual of procedures. Glencoe: The Free Press, 1956.

MITCHELL, Melanie. **Complexity – a guided tour**. New York: Oxford Press, 2009.

MOREIRA, D. A. **O método fenomenológico na pesquisa**. São Paulo: Thompson-Pioneira, 2002.

MORGAN, D. L. Focus Group. **Annual Review Sociology**, n. 22, pp. 129-152, 1996.

_____. **Focus group as qualitative research**. Newbury Park: Sage, 1988.

MORGAN, Gareth. **Imagens da organização**. São Paulo: Atlas, 2002.

MORIN, Edgar; MOIGNE, Jean-Louis. **A inteligência da complexidade**. São Paulo: Peirópolis, 2000.

PARKER, David; STACEY, Ralph. **Caos, administração e economia**: as implicações do pensamento não linear. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 1995.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 2004.

PORTER, Michael. **Estratégia competitiva**: técnicas para a análise da indústria e da concorrência. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

PRIGOGINE, Ilya. **As leis do caos**. São Paulo: Unesp, 2000.

_____. **O fim das certezas** – tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: Unesp, 1996.

QUANJUN, Xu. Exploring a new theory: self-organization theory of the firm. **Nankai Business Review**, 2003. Disponível em: <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-LKGP200303012.htm>. Acesso em: mar. 2010.

ROCHA, Angela da. **Empresas e clientes**: um ensaio sobre valores e relacionamentos no Brasil. São Paulo: Atlas, 2000.

RUELLE, David. **Acaso e caos**. São Paulo: Unesp, 1993.

SANTOS, Eduardo dos. **Evolução da cadeia de suprimentos na indústria de produtos e soluções para redes de computadores**: estudo de múltiplos casos. Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Tese de Doutorado, 2008.

SEBRAE. **O que é franquia?**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: mar. 2010.

SELLTIZ, Claire et al. **Método de pesquisa nas relações sociais**. São Paulo: Pedagógica Universitária, 1974.

SILVA NETO, Benedito. Desenvolvimento sustentável: uma abordagem baseada em sistemas dissipativos. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, n. 1, jan./jun. 2008.

SIMCHI-LEVI, David et al. **Cadeia de suprimentos** – projeto e gestão. Porto Alegre: Bookman, 2003.

SORMAN, Guy. **Os verdadeiros pensadores de nosso tempo**. Rio de Janeiro: Imago, 1989.

SOUZA, Gustavo M.; BUCKERIDGE, Marcos S. Sistemas complexos: novas formas de ver a botânica. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, pp. 407-419, jul./set. 2004.

STAPLETON, Drew et al. Enhancing supply chain solutions with the application of chaos theory. **Supply Chain Management – An International Journal**, v. 11, n. 2, pp. 108-114, 2006.

STEWART, Ian. **Does God play dice?** – the new mathematics of chaos. Malden: Blackwell Publishing, 2002.

STRATHERN, Paul. **Bohr e a teoria quântica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1999.

SVENSSON, G. The multiple facets of the bullwhip effect: refined and redefined. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, n. 35, set./out. 2005.

TALEB, Nassim N. **A lógica do cisne negro** – o impacto do altamente improvável. Rio de Janeiro: Bestseller, 2009.

TAYLOR, David A. **logística na cadeia de suprimentos**. São Paulo: Pearson, 2006.

UKCOASTGUIDE. **Site de informações sobre a costa litorânea da Grã-Bretanha**. Disponível em: <<http://www.ukcoastguide.co.uk>>. Acesso em: maio 2010.

VON WANGENHEIM, Aldo et al. **Técnicas de análise de imagem utilizando fractais**. Disponível em: <www.inf.ufsc.br/~visao/2000/fractais/index.html>. Acesso em: out. 2009.

WILDING, R. Chaos theory: implications for supply chain management. **International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 1, pp.43-56, 1998.

YIN, Robert K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE 1 – DEFLATORES DO IGP-M

IGP-M	Taxa	Fator
janeiro/02	0,36%	1,0036
fevereiro/02	0,06%	1,0042
março/02	0,09%	1,0051
abril/02	0,56%	1,0107
maio/02	0,83%	1,0191
junho/02	1,54%	1,0348
julho/02	1,95%	1,0550
agosto/02	2,32%	1,0795
setembro/02	2,40%	1,1054
outubro/02	3,87%	1,1482
novembro/02	5,19%	1,2077
dezembro/02	3,75%	1,2530
janeiro/03	2,33%	1,2822
fevereiro/03	2,28%	1,3115
março/03	1,53%	1,3315
abril/03	0,92%	1,3438
maio/03	-0,26%	1,3403
junho/03	-1,00%	1,3269
julho/03	-0,42%	1,3213
agosto/03	0,38%	1,3263
setembro/03	1,18%	1,3420
outubro/03	0,38%	1,3471
novembro/03	0,49%	1,3537
dezembro/03	0,61%	1,3619
janeiro/04	0,88%	1,3739
fevereiro/04	0,69%	1,3834
março/04	1,13%	1,3990
abril/04	1,21%	1,4160
maio/04	1,31%	1,4345
junho/04	1,38%	1,4543
julho/04	1,31%	1,4734
agosto/04	1,22%	1,4913
setembro/04	0,69%	1,5016
outubro/04	0,39%	1,5075
novembro/04	0,82%	1,5199
dezembro/04	0,74%	1,5311
janeiro/05	0,39%	1,5371
fevereiro/05	0,30%	1,5417
março/05	0,85%	1,5548
abril/05	0,86%	1,5682
maio/05	-0,22%	1,5647
junho/05	-0,44%	1,5578
julho/05	-0,34%	1,5525
agosto/05	-0,65%	1,5424
setembro/05	-0,53%	1,5343
outubro/05	0,60%	1,5435
novembro/05	0,40%	1,5496
dezembro/05	-0,01%	1,5495

Fonte: Fundação Getulio Vargas (2010)

IGP-M	Taxa	Fator
janeiro/06	0,92%	1,5637
fevereiro/06	0,01%	1,5639
março/06	-0,23%	1,5603
abril/06	-0,42%	1,5537
maio/06	0,38%	1,5596
junho/06	0,75%	1,5713
julho/06	0,18%	1,5742
agosto/06	0,37%	1,5800
setembro/06	0,29%	1,5846
outubro/06	0,47%	1,5920
novembro/06	0,75%	1,6040
dezembro/06	0,32%	1,6091
janeiro/07	0,50%	1,6171
fevereiro/07	0,27%	1,6215
março/07	0,34%	1,6270
abril/07	0,04%	1,6277
maio/07	0,04%	1,6283
junho/07	0,26%	1,6326
julho/07	0,28%	1,6371
agosto/07	0,98%	1,6532
setembro/07	1,29%	1,6745
outubro/07	1,05%	1,6921
novembro/07	0,69%	1,7038
dezembro/07	1,76%	1,7337
janeiro/08	1,09%	1,7526
fevereiro/08	0,53%	1,7619
março/08	0,74%	1,7750
abril/08	0,69%	1,7872
maio/08	1,61%	1,8160
junho/08	1,98%	1,8520
julho/08	1,76%	1,8845
agosto/08	-0,32%	1,8785
setembro/08	0,11%	1,8806
outubro/08	0,98%	1,8990
novembro/08	0,38%	1,9062
dezembro/08	-0,13%	1,9037
janeiro/09	-0,44%	1,8954
fevereiro/09	0,26%	1,9003
março/09	-0,74%	1,8862
abril/09	-0,15%	1,8834
maio/09	-0,07%	1,8821
junho/09	-0,10%	1,8802
julho/09	-0,43%	1,8721
agosto/09	-0,36%	1,8654
setembro/09	0,42%	1,8732
outubro/09	0,05%	1,8742
novembro/09	0,10%	1,8760
dezembro/09	-0,26%	1,8712

Fonte: Fundação Getulio Vargas (2010)