

MARCUS EMERSON VERHINE

A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DO CAOS NA ECONOMIA

SALVADOR  
1996

MARCUS EMERSON VERHINE

A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DO CAOS NA ECONOMIA

VERSÃO PRELIMINAR DA MONOGRAFIA A SER APRESENTADA  
AO CURSO DE GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS  
ECONÔMICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA COMO  
REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM  
ECONOMIA

PROF<sup>o</sup> ORIENTADOR: FERNANDO C. PEDRÃO

SALVADOR  
1996

## AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho monográfico à memória do professor Milton Almeida do Santos Filho, com o qual trabalhei numa pesquisa para o CNPq e que me ensinou, entre outras coisas, a ouvir e respeitar as opiniões alheias.

Agradeço a meus pais e a meus avós pelo suporte dado, tanto no nível emocional como no acadêmico, sem o qual não seria possível concluir o presente trabalho.

Agradeço também ao meu orientador Fernando Pedrão, o qual foi a primeira pessoa a me despertar interesse pelo estudo do caos, e acreditou no meu trabalho monográfico.

Gostaria de agradecer a Arthur Sampaio pela grande ajuda dada na reta final do trabalho, indispensável para subsidiar o estudo de caso.

Finalmente gostaria de prestar meus agradecimentos a todos os amigos e professores que forneceram suporte para que eu desenvolvesse o trabalho. Em especial gostaria de agradecer a André Viana Sampaio, Wilson Júnior, Carlos Marden, Vagner Alves, Frederico, Felipe, Daniela e ao professor João Damásio:

## SUMÁRIO

|       |                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
|       | APRESENTAÇÃO                                                | 5  |
| 1     | INTRODUÇÃO                                                  | 6  |
| 1.1   | HISTÓRICO                                                   | 6  |
| 2     | ABORDAGEM DO CAOS                                           | 22 |
| 2.1   | A TEORIA DA CATÁSTROFE                                      | 22 |
| 2.2   | OS PRINCÍPIOS DO CAOS                                       | 24 |
| 2.2.1 | O efeito borboleta                                          | 25 |
| 2.2.2 | A geometria fractal                                         | 28 |
| 2.2.3 | O universalismo e alguns indicadores do caos                | 32 |
| 2.2.4 | Comentários                                                 | 35 |
| 3     | O CAOS NA ECONOMIA                                          | 39 |
| 3.1   | ECONOMIA E CAOS                                             | 39 |
| 3.2   | CAOS NA ECONOMIA                                            | 43 |
| 3.3   | CAOS NO MERCADO FINANCEIRO                                  | 49 |
| 3.4   | COMENTÁRIOS FINAIS                                          | 52 |
| 4     | ESTUDO DE CASO - O SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL<br>DE SALVADOR | 55 |
| 4.1   | ALGUNS ASPECTOS GERAIS DO SETOR DE<br>CONSTRUÇÃO CIVIL      | 55 |
| 4.2   | O ESTUDO DE CASO                                            | 60 |
| 4.2.1 | Metodologia                                                 | 60 |
| 4.2.2 | A coleta de dados                                           | 62 |
| 4.2.3 | Análise dos dados                                           | 64 |
| 5     | CONCLUSÃO                                                   | 68 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                  | 75 |

## APRESENTAÇÃO

A escolha do assunto abordado pelo presente trabalho monográfico, foi baseada no questionamento da utilização de modelos lineares e reducionistas na explicação do comportamento dos fenômenos econômicos.

O trabalho em questão nasceu de um processo de profunda reflexão sobre a viabilidade da aplicação de fundamentos do caos na realidade econômica.

A abordagem do caos é um campo de estudo relativamente novo, que apresenta um conjunto de princípios que questionam a utilização de modelos lineares na previsão do comportamento dos fenômenos : físicos, químicos, sociais, biológicos e econômicos. O caos apresenta-se, então, como novo referencial de análise dos fenômenos. A sua aplicação na economia é recente e vem sendo abraçada pelas mais diversas vertentes ideológicas do pensamento econômico.

O objetivo do trabalho monográfico é comprovar a hipótese da viabilidade da aplicação dos princípios do caos, na explicação do comportamento dos fenômenos econômicos.

Além de apresentar uma pesquisa bibliográfica e documental, o trabalho apresenta um estudo de caso sobre a incerteza do financiamento do setor de construção civil de Salvador, como exemplo da aplicação de alguns fundamentos do caos na Economia.

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo relatar os principais avanços na ciência, a partir de Copérnico, os quais influenciaram o método e o pensamento científico de sua época e dos anos subsequentes. Destaca-se, aqui, neste capítulo a influência do modelo cartesiano-newtoniano sobre os diversos ramos da ciência, até os dias de hoje, e os novos avanços científicos dos Séculos XIX e XX que, mesmo emergindo dessa concepção de visão de ciência e de mundo, vão desenvolver idéias e resultados que irão se apresentar como principais questionadores desse modelo científico dominante.

## 1.1 HISTÓRICO

Apesar da revolução científica moderna ter começado com Nicolau Copérnico e sua concepção heliocêntrica, a qual se apresentava como uma negação da concepção ptolomaica, defendida pela Bíblia, de que a Terra era o centro do Universo; e, apesar de Kepler já ter desenvolvido uma teoria sobre o movimento dos planetas, que iria se aliar às idéias copernicanas, foi com Galileu Galilei que se estabeleceu uma mudança na opinião científica.

Galileu desempenhou papel fundamental na revolução científica ocorrida nos Séculos XVI e XVII; pois, além de desenvolver estudos na área de Astronomia - o que lhe rendeu problemas com a Igreja Católica, forçando-o a negar suas convicções a respeito desse campo de estudo - e de ter descoberto as leis de queda dos corpos, ele introduziu aspectos profundos sobre a maneira de se fazer ciência.

Dentre as inúmeras contribuições de Galileu à ciência destacam-se duas, bastante pioneiras e básicas: o uso da linguagem matemática na descrição dos fenômenos e na formulação das leis, e o método empírico.

Sobre o primeiro aspecto Capra fala: "Galileu foi o primeiro a combinar a experimentação científica com o uso da linguagem matemática para formular as leis da

natureza por ele descobertas, é, portanto, considerado o pai da ciência moderna” (CAPRA, 1989, p.50). A idéia de uso da linguagem matemática na descrição dos fenômenos da natureza levou Galileu a considerar apenas os fenômenos que pudessem ser quantificados; ou seja, os aspectos qualitativos e subjetivos não poderiam ser levados em consideração, uma vez que não era possível serem representados matematicamente. Essa idéia de Galileu Galilei exerceu, e ainda exerce, uma enorme influência entre os cientistas, os quais tiveram, e têm tido desde então, como principal preocupação apenas a mensuração dos fenômenos da natureza, sem se preocuparem com a própria essência subjetiva destes.

René Descartes, matemático e filósofo francês - considerado o principal fundador da Filosofia moderna - nascido, em 31 de março de 1596, numa vila de La Haye, propôs-se a construir um novo sistema de pensamento que influenciaria intensamente o método e o pensamento científicos nos três séculos subsequentes.

Partindo de um sonho que teve, Descartes se empenhou em tentar desenvolver uma ciência unitária e universal, que deveria resolver todas as questões pendentes, a respeito do funcionamento da natureza. Essa nova ciência teria como base a certeza do conhecimento; ou seja, já poderia se considerar todo o conhecimento possível de comprovação, o qual não deveria gerar dúvidas. Para Descartes a certeza só seria obtida através da Matemática; isto é, a demonstração matemática dos fatos serviria de garantia da certeza da validade desses fatos. René Descartes via, então, a Matemática como sinônimo de ciência na medida em que acreditava que esta era a chave para a explicação e compreensão do Universo.

Dentro da ótica de que a natureza expressava-se através da linguagem matemática e concordando com Galileu, Descartes desenvolveu um método de correlação entre a Geometria e a Álgebra ( aplicação da formulação algébrica a problemas geométricos), o qual foi chamado de geometria analítica. Através desse método foi possível fazer-se uma análise de todos os fenômenos físicos, reduzindo-os a um plano em que prevalecem as relações exatas da matemática.

A principal obra de René Descartes é o “Discurso do método para bem conduzir a razão a procurar a verdade nas ciências”; mais conhecido como, simplesmente, “O Discurso do Método”. Neste livro ele apresenta o novo método de raciocínio por ele desenvolvido. O ponto chave do método cartesiano é a dúvida. Segundo René o método da dúvida é aplicado universalmente; ou seja, ele duvida de tudo (inclusive da existência do próprio corpo, o qual seria uma simples ilusão ou um sonho!), até chegar a um limite em que não se pode duvidar da sua própria existência. Pois se duvida, ele deve existir; e, como duvidar é pensar, então, enquanto pensa ele existe.

O fato de pensar dá a Descartes a certeza de sua existência. Segundo Capra: “Assim chega à sua famosa afirmação ‘cogito, ergo sum’, ‘Penso, logo existo’. Daí, deduzia Descartes que a essência da natureza humana reside no pensamento, e que todas as coisas que concebemos clara e distintamente são verdadeiras. A tal concepção clara e distinta ‘a concepção da mente pura e atenta’ chamou de intuição”; afirmando que ‘não existem outros caminhos ao alcance do homem para o conhecimento certo da verdade, exceto a intuição evidente e o raciocínio dedutivo’”(CAPRA, 1989, p.59).

Uma das maiores contribuições de Descartes à ciência moderna foi o seu método analítico de raciocínio, o qual consiste em decompor problemas e pensamentos em suas diversas partes componentes, e depois analisá-los em ordem lógica. Para Descartes, por mais complexo que fosse o problema este poderia ser entendido através da análise e do estudo em separado, de cada uma de suas partes (o que seria, sem dúvida, mais simples, em relação à análise do todo). Assim, o todo seria uma mera soma das partes, podendo -se, então, aplicar o método analítico no estudo de todos os problemas, independentemente da complexidade e da natureza destes.

O método analítico cartesiano fez com que seu autor afirmasse que a mente e a matéria seriam completamente separadas e fundamentalmente distintas, sendo que a mente teria o nome de “res cogitans” - coisa pensante- e a matéria de “res extensa”- coisa extensa - onde a primeira seria privilegiada em relação à segunda.



Descartes acreditava que a parte material do Universo comportava-se como uma máquina. A natureza, então, funcionaria de acordo com leis mecânicas, exatas e todo o mundo material poderia ser explicado através da movimentação e estruturação de suas partes componentes.

Essa concepção de universo material, como máquina, foi, posteriormente, estendida aos organismos vivos. Homens, animais e plantas passaram a ser vistos, também, como máquinas. Os humanos, por exemplo, possuíam uma alma racional que estava ligada ao corpo através da glândula pineal, porém a mente estava, em muitas atividades, dependente do corpo. A paixão, por exemplo, era vista como uma reação do corpo. Quanto ao corpo humano, considerado a mais perfeita das máquinas, deveria este funcionar através de reflexos condicionados e automáticos.

Descartes utilizou-se da fisiologia para demonstrar que várias funções biológicas do corpo poderiam ser interpretadas como operações mecânicas, o que fazia dos humanos, autômatas. A vida, então, nada mais era do que uma máquina, onde um homem doente seria comparado a um relógio mal fabricado e um homem sadio corresponderia a um relógio bem feito.

O método cartesiano também compreende a separação completa entre o sujeito e o objeto, ou seja, o sujeito e o objeto são independentes um do outro e sua existência não está, de forma alguma, condicionada à relação sujeito-objeto. Tal ideia cartesiana é bastante questionada pela física quântica, a qual (como veremos adiante) defende a tese de que o objeto não existe sem o sujeito, e a própria relação sujeito-objeto provoca mudanças tanto no objeto como, também, no sujeito.

Deve-se, ainda, afirmar que René Descartes não negava a existência e a importância de Deus (embora muitos cartesianos tenham abandonado essa crença). Isso fica bem claro quando este destina a Deus a criação tanto da mente, como da matéria, e a responsabilidade da ordem natural das coisas.

Embora não conseguisse implantar uma ciência completa como queria, Descartes conseguiu influenciar, profundamente, o pensamento científico moderno. Dentre seus legados podem-se enumerar alguns importantes :

- A) a noção de verdade absoluta levantada por Descartes influencia até hoje as pessoas (cientistas ou não) a encararem o método científico como único meio de compreensão exata da vida e do universo;
- B) a utilização exacerbada do reducionismo cartesiano na ciência levou à crença de que todos os fenômenos complexos podem ser entendidos e estudados através da simples redução e divisão de suas partes componentes;
- C) Ao privilegiar a mente em relação à matéria, a visão cartesiana nos levou a dar maior valor ao trabalho mental em relação ao manual, fato que pode ser evidenciado nos dias de hoje, onde os salários dos empregos braçais são bem mais baixos do que os salários dos empregos "intelectuais" ( embora os professores possam representar uma exceção);
- D) os cientistas modernos utilizam, até hoje, a divisão cartesiana entre ciências humanas (destinadas ao estudo da mente) e ciências naturais ( estudando exclusivamente a matéria);
- E) o mecanicismo cartesiano tornou-se paradigma da ciência nos períodos posteriores a Descartes, e só viria ser questionado nos Séculos XIX e XX;
- F) a idéia cartesiana de que o universo era um grande sistema mecânico deu subsídios aos cientistas ocidentais a abusarem da manipulação da natureza;
- G) a visão dos organismos vivos, como máquinas, foi levada a tal ponto, que os cientistas pós-Descartes vieram a tratar os seres vivos como nada mais do que máquinas (autômatas);
- H) a pretensão de Descartes de formular uma ciência equivalente à Matemática, baseada em princípios fundamentais que dispensassem demonstração foi e vem sendo adotada nas diversas áreas da ciência, entre estas a Economia , na qual, algumas teorias econômicas se usam de postulados não demonstráveis para explicar o funcionamento e a natureza dos fenômenos econômicos;
- I) apesar de possuir limitações, o método científico cartesiano possibilitou enormes avanços e conquistas em todos os segmentos da ciência como: Astronomia ( o homem na lua ), Medicina, Física, Química, Biologia, Ciências Humanas, d entre outros.

O modelo cartesiano foi, de fato, implementado na realidade científica com Isaac Newton. Nascido em 1642 na Inglaterra, Newton não só aplicou o método cartesiano na ciência como, também contribuiu para a complementação da revolução científica ocorrida neste período.

Newton desenvolveu uma física, a qual tinha na matemática seu grande alicerce como instrumento de afirmação da concepção mecanicista da natureza. Ele se utilizou de obras científicas anteriores e realizou uma grande síntese destas, por exemplo: a formulação das leis newtonianas de movimento fez uso tanto das leis de movimento planetário de Kepler como também da lei de queda dos corpos de Galileu.

Uma das maiores contribuições de Newton à ciência foi o desenvolvimento de um método matemático completamente novo, o qual deu consistência à formulação das leis de movimento newtonianas, na medida em que descrevia, com precisão, o movimento dos corpos sólidos. Esse método recebeu o nome de "cálculo diferencial", que está relacionado ao conceito de quantidades infinitesimais como resultado do processo estar se limitando. Isto é, é tipicamente a variação em má quantidade ocorrendo entre instantes sucessivos quando o tempo entre estes tende a zero.

O principal livro de Newton: "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" (ou "Principia", apenas) apresenta, explicitamente, seu método experimental, no qual todos os fenômenos não deduzidos são chamados de hipóteses, e estas não são consideradas de cunho científico. Além disso, o próprio método newtoniano acabou combinando o método empírico indutivo de Bacon com o método dedutivo cartesiano. Para Capra: "Newton, em seus Principia, introduziu a combinação apropriada de ambos os métodos, sublinhando que tanto os experimentos sem interpretação sistemática quanto a dedução a partir de princípios básicos sem evidência experimental não conduziriam a uma teoria confiável (...) Newton unificou as duas tendências desenvolveu a metodologia em que a ciência natural passou a basear-se desde então" (CAPRA, 1989, p.59).

O método newtoniano apresenta como estratégia o isolamento de um fato específico, central, e a utilização deste como base para as futuras deduções relacionadas a determinado fenômeno. Newton, por exemplo, não explicou a gravidade; ele apenas a tomou como fato, para daí desenvolver toda a teoria de movimento dos corpos. Essa

idéia newtoniana estende-se a todas as disciplinas, onde cada uma destas deve tomar como ponto de partida um fato central inexplicável, para, então, realizar deduções dos mais variados fenômenos/ Essa idéia adequa-se à de Descartes, que também adota princípios fundamentais, não demonstráveis, na formulação da ciência.

No mundo newtoniano tanto o espaço era absoluto ( imóvel, um recipiente vazio) como também o tempo ( uniforme, independente de qualquer fenômeno externo). Dentro do espaço e do tempo movimentavam-se partículas materiais, as quais seriam compostas de "átomos" sólidos, indestrutíveis, e que teriam a mesma substância, ou seja, toda a matéria seria composta pela mesma substância material ( a matéria seria homogênea), e a diferenciação entre tipos de matéria seria feita de acordo a organização e aglomeração dos átomos.

Newton considerava o movimento das partículas completamente separado e independente da matéria; isto é, a existência de matéria não significaria a existência de forças entre as matérias. O movimento seria causado pela força da gravidade ( que tinha ação instantânea). Através da idéia de movimento desenvolveu-se a mecânica clássica, onde os efeitos da força da gravidade seriam descritos por equações matemáticas. E estabeleceu-se as leis fundamentais do movimento, às quais todos os movimentos de partículas estavam sujeitos. A primeira lei tratava da inércia, a segunda afirmava que a força era igual à massa multiplicada pela aceleração (  $F = m \cdot a$  ), e a terceira era a lei de ação e reação (para toda ação existe uma reação de igual intensidade e de sentido contrário).

A concepção de universo regulado por leis fixas e imutáveis está ligada a um determinismo bastante rígido, onde todo o mundo físico é determinado e causal. Ou seja, ao se conhecer a origem dos fenômenos seria possível prever, com total certeza, o comportamento futuro destes. Não existiria, então, erros de previsão e nem o acaso; se as condições iniciais dos fenômenos fossem completamente conhecidas. Além disso, a integração ( no sentido matemático) das leis de movimento nos leva às trajetórias que as partículas seguem. Essas trajetórias teriam como principais características : o determinismo e a reversibilidade, possibilitando, tanto o conhecimento do futuro como do passado dos fenômenos, além da total capacidade de se restaurarem as condições

iniciais do fenômeno. Vale ressaltar que tais condições iniciais são arbitrárias e são dadas, e nunca criadas.

Newton, ao determinar que os corpos e fenômenos físico seguiam leis imutáveis e exatas (sob a influência da força da gravidade), concordou com idéia cartesiana de ver o mundo como enorme máquina. Sendo assim, a visão mecanicista cartesiana foi comprovada e ganhou mais força, através da concepção newtoniana do universo como uma máquina perfeita. Além disso, essa visão mecanicista se estendeu a todo o universo, ou seja, todos os fenômenos que ocorriam em todo o mundo funcionavam de acordo com leis matemáticas exatas. Tal fato mostra que Newton, assim como Descartes, também apresentou uma visão universalista.

Pode-se notar que sobre a ciência newtoniana apresentam-se alguns comentários relevantes tais como : primeiro, a concepção newtoniana de ciência a encara como meio de ação sobre a natureza; isto é, a ciência newtoniana não é passiva e sim ativa em relação à natureza. Segundo, a ciência de Newton representou uma aliança entre a manipulação e a compreensão teórica; na qual estabeleceu-se que se deveria compreender os processos naturais, para, então, poder utilizá-los mais eficientemente na própria natureza. E terceiro, Prigogine (1984) destaca que a concepção newtoniana aliou não só os pensamentos aristotélicos como também os de Galileu, de descrição. Tendo o primeiro a preocupação principal em saber “porque” os processos ocorrem, e o segundo teria um maior enfoque em saber “como” tais processos ocorrem. A síntese newtoniana, então, nos apresenta a idéia de descrição da natureza baseada no “porque” e no “como”.

A concepção e visão de mundo newtoniana e a cartesiana passaram a exercer profunda influência em todas as áreas do conhecimento (principalmente nos Séculos XVIII e XIX), até os dias atuais, gerando grandes contribuições como : a explicação dos movimentos planetários em mínimos detalhes; a explicação do movimento das partículas subatômicas até o Século XX; movimento das marés; previsões de desastres cósmicos; etc.

Uma extrapolação da dinâmica newtoniana, que depois foi trabalhada e aprofundada por Hamilton, é a idéia do demônio de Laplace. O matemático francês Pierre-Simon Laplace utilizou o símbolo do demônio para ilustrar o determinismo na dinâmica dos fenômenos, onde seria possível, apenas observando-se e calculando-se precisamente um estado do fenômeno, prever não só o comportamento futuro desse fenômeno, como também, conhecer, com precisão, seu passado. Assim sendo, bastaria que tivéssemos grande poder de calcular os fenômenos e, sem dúvida, entenderíamos todo o seu passado e futuro, independentemente do seu grau de complexidade.

À medida em que se foi avançando nas pesquisas científicas, alguns problemas surgiram, devido a certas limitações da ciência newtoniana. Alguns avanços da ciência, então, começaram a questionar pontos da concepção científica cartesiana-newtoniana. Entre estes podemos destacar o eletromagnetismo, onde a noção de campo de força substituiu a noção de força newtoniana, a evolução e a termodinâmica.

A idéia de evolução trouxe à tona a noção de crescimento e mudança, a qual ia de encontro com alguns princípios newtonianos e cartesianos. A idéia de evolução foi aplicada tanto a fenômenos físicos, como também, a fenômenos biológicos. Tendo esse último como destaque a teoria evolucionista darwiniana, a qual teve como pilares a noção de variações aleatórias e a seleção natural. Tal teoria ia de encontro às noções cartesianas, de que os seres e fenômenos sempre existiram da mesma forma que se apresentam nos dias de hoje. Ou seja, a máquina cartesiana-newtoniana não sofre mudança e desenvolvimento ao longo do tempo. Segundo Capra: "A descoberta da evolução em biologia forçou os cientistas a abandonarem a concepção cartesiana segundo a qual o mundo era uma máquina inteiramente construída pelas mãos do Criador. O universo, pelo contrário, devia ser descrito como um sistema em evolução e em permanente mudança, na qual estruturas complexas se desenvolviam a partir de formas mais simples" (CAPRA, 1989, p. 67).

A utilização dos princípios newtonianos, de dinâmica, foi feita no estudo dos fenômenos térmicos, surgindo uma das principais e interessantes partes da ciência física: a termodinâmica ou ciência da complexidade, a qual representará um dos pilares de

questionamento da mecânica newtoniana. Como, por exemplo, na relação energia e trabalho, onde para Newton toda a energia do sistema, em qualquer estado, era convertível a trabalho, e enquanto que na termodinâmica apenas fração da energia do sistema seria convertível em trabalho.

Apesar de, em 1824, Sadi Carnot introduzir o conceito de ciclo de máquina térmica, onde se poderia obter uma distinção precisa entre as interações dos sistemas e as mudanças de seus estados, foi em 1850, depois do artigo publicado por Clausius que se teve o nascimento definitivo da termodinâmica, a qual, mais tarde, iria receber diversas contribuições de vários cientistas, como Boltzmann, Gibbs e Nernst entre outros.

A termodinâmica tem três principais leis. A primeira lei define o que é energia e apresenta a noção de conservação de energia, afirmando que a energia total envolvida num processo é sempre conservada, ou seja, não existe perda de energia do sistema. Assim sendo, não importa a forma como ocorre a transferência de energia, pois esta sempre se manterá no sistema, mesmo que assuma diferentes formas (energia cinética, potencial, calor, etc).

A segunda lei da termodinâmica está relacionada à existência de estados de equilíbrio estável e a conexão destes com outros. Ela é conhecida como lei da dissipação da energia, a qual estabelece que, embora a energia total do sistema se mantenha constante (não desapareça) a quantidade de energia útil, que possa ser utilizada para produzir trabalho, é reduzida, dissipando-se em calor e fricção. Essa lei não tem só implicações físicas, mas também pode ser entendida de maneira filosófica, na medida em que aponta a idéia de que os fenômenos têm a tendência de irreversibilidade dos processos, onde não se pode mais voltar ou reverter o sistema a suas condições iniciais. Isto é, existe uma tendência aos fenômenos físicos (e por que não também os químicos, sociais, econômicos, etc?) a seguirem uma certa "flecha do tempo", a qual possuirá apenas um sentido e não poderá ser revertida.

Tanto a primeira como, principalmente, a segunda lei da termodinâmica implicaram no conceito de entropia, introduzido por Clausius, o qual significa transformação de energia.

Tal conceito está intimamente ligado às conclusões da segunda lei, na medida em que se verificou que todos os processos seguem uma “flecha do tempo” na direção da ordem para a desordem. A entropia, então, mede o grau de desordem em que o processo está submetido. Esta, num sistema isolado, só poderá manter-se constante ou crescer, mas nunca poderá se reduzir. Assim sendo, o conceito de entropia está intimamente ligado à evolução do sistema, onde esta - a evolução - deverá se realizar na medida em que o sistema for ficando cada vez mais desordenado. O conceito de evolução acaba por estar estreitamente ligado ao conceito de entropia e de desordem.

O conceito de entropia e a segunda lei da termodinâmica demandaram um novo tipo de teoria que pudesse explicar de maneira mais precisa a distribuição de ocorrência dos fenômenos. Coube a Boltzmann a introdução de uma inovação conceitual: a teoria das probabilidades. As leis estatísticas passaram, então, a descrever o comportamento dos fenômenos e dos sistemas mecânicos. Segundo Boltzmann, os sistemas macroscópicos tinham maior probabilidade de aumentar a sua entropia interna, em relação aos sistemas microscópicos. Vale salientar, que a teoria das probabilidades, através das leis estatísticas, serviu de alicerce para que a termodinâmica fosse aceita dentro do “mundo newtoniano”, e fosse explicada através do uso da mecânica estatística.

A terceira lei da termodinâmica está relacionada à idéia de que, para sistemas que apresentem um equilíbrio estável, a entropia deve tender a ser igual a um valor finito quando a temperatura for igual a zero grau Kelvin ( $-273^{\circ}$  Celsius). No ponto de zero grau absoluto ( $0^{\circ}$  Kelvin) o movimento das partículas deve cessar e o sistema atingir o equilíbrio estável. Essa lei, associada à segunda, pode levar à conclusão de que a entropia cresce até um certo ponto, no qual o movimento das partículas acaba e o sistema entra em equilíbrio. A evolução de um sistema leva o mesmo a passar de um estado de não-equilíbrio para um estado de equilíbrio.

A termodinâmica estabeleceu inúmeras contribuições ao pensamento e método científicos. Além de contribuir para a formulação e a aplicação da teoria das probabilidades, este ramo da física apresentou alguns aspectos relevantes à ciência, dentre os quais podemos destacar dois: a noção de evolução e de irreversibilidade. No



primeiro caso o conceito de entropia, como indicador de evolução de um sistema, é bastante diferente do conceito de evolução darwiniana; pois, enquanto que neste a evolução se dá da desordem para a ordem (onde existiria uma maior complexidade em relação aos estágios anteriores), a noção de evolução em física (termodinâmica) estabelece como evolução do sistema a crescente desordem deste; ou seja, a passagem de estruturas mais ordenadas para estruturas de maior "bagunça". Vale ressaltar que os dois conceitos de evolução representam questionamentos sobre o modelo newtoniano de universo, como uma máquina preconcebida pelas mãos de Deus.

A noção de irreversibilidade é bastante importante na aplicação dos métodos científicos, pois tal conceito estabelece que uma vez modificado o sistema, este nunca poderá restabelecer completamente suas condições iniciais. Assim, a repetição dos experimentos no mesmo sistema implicará em resultados diversos, uma vez que as condições iniciais do sistema se modificarão à medida em que novos experimentos forem feitos. Essa noção pode ser, também, aplicada à economia, onde, por exemplo, a aplicação das mesmas políticas econômicas na mesma sociedade em épocas distintas, implicará em resultados diversos; isto é nunca serão totalmente iguais. Assim, essa idéia de irreversibilidade está ligada à idéia de memória do sistema, o que explica a razão pela qual algumas medidas econômicas não surtam hoje, por exemplo, os mesmo efeitos registrados quando estas mesmas foram tomadas num período anterior.

O Século XX caracteriza-se pelo aparecimento e desenvolvimento de vários campos da ciência, que acabaram por questionar o modelo cartesiano-newtoniano dominante na ciência desde o Século XVI. O surgimento dessas novas vertentes e teorias científicas vai provocar mudanças nos paradigmas e na visão de mundo clássicos, gerando mudanças profundas na ciência.

Entre as novas teorias criadas no Século XX, duas merecem maior destaque, por representarem uma ruptura com as bases newtonianas e cartesianas, além de influenciarem diversas outras que irão surgir ao longo do atual século. São estas: a Teoria da Relatividade e a Física Quântica.

A Teoria da Relatividade de Einstein apresentou uma ruptura com a idéia newtoniana de tempo e espaço absolutos e separados, independentemente, um do outro. Segundo Einstein, o tempo e o espaço são conceitos relativos particulares do observador que descrevem um fenômeno natural. Mas, o que de fato existe é uma estrutura inseparável e, intimamente, interconectada de quatro dimensões, a qual chamamos de espaço-tempo. Essa estrutura, por ser impossível de ser visualizada, deve ser entendida e estudada de forma abstrata e teórica.

Em se tratando de realidade ordinária, Einstein, ainda, rompeu com a idéia de tempo absoluto, na medida em que afirmava que a velocidade da luz é constante (300 000 Km.), independentemente do movimento do corpo que a esteja gerando ou refletindo, e ainda o tempo será variável, podendo ser mais lento ou mais rápido, dependendo da ação da força da gravidade sobre a estrutura espaço-tempo. Além disso, admitiu que o universo era revestido por uma estrutura de quatro dimensões - espaço-tempo- e que essa poderia se curvar mais ou menos de acordo com a intensidade da força da gravidade. A Teoria da Relatividade adotou a idéia de universo curvo, onde os mais diversos corpos celestes - estrelas, planetas, etc- formariam deformações na estrutura desse universo. Essa idéia apresenta algumas constatações, dentre as quais pode-se destacar a de que, além do tempo poder fluir em velocidades diferentes (mais rápido ou mais lento) a depender do ponto de localização no universo, a noção de universo curvo apresenta a idéia de que as retas paralelas devem, sim, se encontrar; o que representa uma ruptura com um dos postulados da geometria euclidiana, dominante na ciência, até então.

A teoria relativista tem como um dos seus principais pilares a equação de Einstein  $E=mc^2$  (onde  $c$  é a velocidade da luz) que traz a idéia de que a massa nada mais é do que uma forma de energia, onde aquela não é mais, necessariamente, indestrutível, mas pode ser transformada em diferentes formas de energia.

Este conceito de massa como forma de energia resulta em consequências no conceito de matéria, pois a massa acaba não sendo mais associada, diretamente, com a substância material, e as partículas passam a ser entendidas como formas de energia. Além disso, o

conceito de força é modificado à medida em que se apresenta a idéia de que a força entre as partículas se dá através da intensidade e caráter das trocas de sub-partículas, entre estas. Assim, tanto a força como a matéria têm conceitos fundado na dinâmica das partículas, que nada mais são do que manifestações de energia. Para a teoria da relatividade, então, a atividade - o fluxo de energia- é condição "sine qua non" para se entender a existência e o funcionamento do Universo.

A Física Quântica, desenvolvida no começo do atual século, apresentou-se como grande questionadora dos paradigmas newtonianos, dominantes até então. O estudo profundo dos átomos levou a uma das maiores contribuições da Física Quântica à ciência: o princípio da incerteza de Heisenberg, o qual estabelece que é impossível se conhecer, com precisão, simultaneamente, a posição e a trajetória de um objeto (átomo) em movimento. Isto é, se um desses for determinado com precisão, o outro não poderá ser precisamente determinado. Por isso, não adianta se ter uma observação e um conhecimento profundo da realidade, porque, mesmo assim, esta terá sempre um caráter incerto. A incerteza é, então, característica essencial da realidade e do mundo.

Para a Física Quântica a simples observação já altera a realidade; isto é, a maneira como se observa, determinada pelo pensamento do observador, um fato vai determinar como ele aparece a nós. Os quânticos defendem que a realidade só adquire sentido se for observada. O objeto, então, só existe com a ação do observador. Este conceito difere completamente da visão cartesiana de que o sujeito e o objeto existem, independentemente da relação que haja entre eles; o objeto existirá sempre, mesmo que não seja conhecido pelo sujeito. Além de determinar a completa interdependência do sujeito e do objeto e de interpretar a relação entre eles (sujeito-objeto) como elemento crucial para a formação da realidade, a teoria quântica vai enfatizar que a relação sujeito-objeto não só modifica o objeto, como também prova alterações no sujeito. Por exemplo, a maçã só existe se for observada por alguém, e esse alguém, na medida em que observa a maçã, também sofrerá modificações - mesmo que imperceptíveis- em relação ao que era antes da observação.

Os defensores da Física Quântica estabelecem que a observação de todo o universo são dotados de um componente que reflete uma fase da pré-matéria, e que consegue se propagar a uma velocidade muito superior à da luz. A essa onda deu-se o nome de onda quântica. Ela apresenta-se onde e quando é provável que algo ocorra. Éssa é uma medida de probabilidade que um evento ocorra. Segundo Toben e Wolf : “Tira-se dessa estimulante idéia de que essa probabilidade não existe apenas em nossas mentes, mas também se movimenta no espaço e no tempo. Em outras palavras, a onda quântica está em nossas mentes e fora dela, no mundo. A onda quântica, em suma, é uma onda de probabilidade que se move mais depressa que a luz e conecta nossas mentes com o mundo físico” (TOBEN,1982, p.129).

Alguns físicos visionários, como Everett, desenvolveram a idéia dos universos paralelos, onde a onda quântica mais do que um indicador de probabilidade de ocorrência de um evento é vista como um indicador do que realmente ocorre. Partindo dessa idéia, Everett determina que para cada possibilidade existiria um universo paralelo, onde o evento realmente ocorreria; ou seja, quando um dado é jogado e ele cai com a face três para cima, ele apresentará diferentes resultados ( um, dois, e até cair equilibrando-se em uma das pontas), em outras realidades ou universos paralelos ao nosso. E o que é mais surpreendente é que nossa realidade ordinária caracteriza-se pela harmonia de fases entre os inúmeros universos paralelos, ou seja, nós existimos em todos os universos .

A Física Quântica estabelece que , quando observadas, as partículas elementares movimentam-se como ondas que se sobrepõem formando uma nuvem; mas, quando observada a partícula encontra-se num determinado local e não mais como onda ( a observação altera o estado da partícula elementar). Essa mudança de estado das partículas ocorre quando observadas e está associada à Teoria da Complementaridade de Bohr, que estabelece como característica dessas partículas (e da matéria em geral ) a interconexão entre esses dois comportamentos da matéria ( onda X partícula).

Os quânticos acreditam que os objetos do universo estão interrelacionados através da onda quântica, que se move mais rápido do que a luz; e que, então, qualquer observação e ação efetuadas sobre um objeto levará a alterações nos resultados de comportamento de outro objeto, mesmo que este esteja bastante distante do primeiro. Essa idéia de

interconexão entre os objetos e fenômenos do universo é aproveitada pelos cientistas defensores da abordagem do caos, principalmente no que diz respeito ao “efeito borboleta” ( que será demonstrado no capítulo seguinte).

A Física Quântica mostra que , ao contrário do que pretendeu Descartes, o homem não está separado da natureza. Ambos estão interligados e dependem um do outro, à medida em que a natureza só existe por causa da sua relação com o homem. Seria possível, inclusive, extrápoler e questionar qual seria o significado do Universo sem o homem?

A idéia de que o Universo é um imenso jogo de probabilidades; que ,de fato, Deus joga dados, representou um forte questionamento ao modelo cartesiano-newtoniano, até então soberano dentro da ciência. A Física Quântica , ao lado da Teoria da Relatividade, influenciará a ciência como um todo , e servirá de base para novas teorias que se apresentarão, cada vez mais, probabilísticas e menos lineares. É esse contexto montado no início do Século XX, que dará respaldo a novos tipos de abordagem da realidade, desenvolvidos ao longo do século. Entre estas , pode-se destacar e enfocar “a abordagem do caos”, a qual será estudada no capítulo seguinte.

## 2 A ABORDAGEM DO CAOS

O capítulo, em questão, tem como principal objetivo apresentar os princípios da abordagem do caos e demonstrar alguns exemplos de aplicação destes na natureza. Para isso, primeiro será feita uma apresentação da teoria da catástrofe e depois se relatará o nascimento e o desenvolvimento do estudo do caos frente ao mundo científico.

Antes de se ater aos princípios do caos e da teoria da catástrofe, deve-se caracterizar e conceituar a noção de atrator. O sistema dinâmico apresenta uma característica peculiar: o seu comportamento de longo prazo tende a se estabelecer em torno de um atrator; e uma vez dentro do atrator, o sistema não mais o abandona.

Existem, basicamente, três tipos de atrator: o ponto fixo, o círculo limitado e o atrator estranho. Os dois primeiros serão agora caracterizados e o terceiro será melhor estudado posteriormente, neste capítulo. No caso do primeiro, o sistema tende a se convergir a apenas um ponto. Por exemplo: um pêndulo que possui atrito e fricção tende a se estabilizar num único ponto de repouso. Já o segundo tipo está relacionado a um sistema, cujas regras causam uma trajetória que se auto-repete num círculo limitado. Tal idéia tem como exemplo o pêndulo ideal (que não sofre atrito ou fricção) que oscila ora para a esquerda ora para a direita, estando, então, preso a um atrator circular limitado. Os sistemas estruturalmente estáveis têm como atratores o ponto ou o círculo limitado, onde seus movimentos de longa duração podem permanecer em repouso estacionário ou repetirem-se de forma periódica.

### 2.1 A TEORIA DA CATÁSTROFE

Embora alguns princípios do caos já tivessem sido desenvolvidos, a Teoria da Catástrofe - anunciada ao mundo científico em 1972, por René Thom - apresentou uma grande aceitação, no primeiro momento, entre os diversos periódicos científicos do começo dos anos setenta, tornando-se uma espécie de modismo científico. Porém, tal aceitação (onde se chegou a comparar Thom com Newton), não se sustentou e depois de cinco anos todos já não a aceitavam sendo, inclusive, criticada como sendo uma teoria

exagerada e não científica. Tal fato se deu pela mudança de ótica na utilização da Teoria da Catástrofe, que surgiu para explicar observações passadas e acabou sendo utilizada na previsão de observações futuras.

A Teoria da Catástrofe é essencialmente uma teoria matemática, que estabelece a ocorrência de grandes mudanças-abruptas- no comportamento dos sistemas, quando se apresentam relacionados a atratores instáveis, e onde uma pequena mudança nos parâmetros pode provocar uma descontinuidade na estrutura do sistema, podendo sofrer grandes alterações.

René Thom tentou explicar os mais diversos fenômenos, através de sua teoria, utilizando-se de uma geometria que ilustrava os pontos mais sensíveis do sistema, onde poderia ocorrer a catástrofe. Assim sendo, foi utilizado um teorema de classificação, baseado no número de parâmetros e de variáveis do sistema, que estabelecia a estrutura geométrica do sistema em questão.

A Teoria da Catástrofe acabou sendo utilizada na explicação de diversos fenômenos como: o fim do comunismo; na morfogênese; no colapso de civilizações, no estudo do comportamento do raio laser, etc. Sempre se utilizando de um teorema de classificação que estabelecia a geometria do sistema, a qual poderia se apresentar em sete formatos diferentes, a depender do número de parâmetros - no máximo seis - e de variáveis - dois, no máximo.

Pode-se notar que, embora apresente uma idéia interessante de descontinuidade do sistema, em que mudanças abruptas podem ocorrer, a Teoria da Catástrofe está sujeita a inúmeras críticas. A primeira é que ela só se aplica a sistemas dinâmicos que apresentam pontos fixos como atratores; ou seja, não pode ser utilizada na explicação de fenômenos que apresentam os outros tipos de atrator; e também, só se aplica a um universo de fenômenos bastante restrito. A Segunda, diz respeito à geometria da Teoria da Catástrofe estar presa a um número limitado de variáveis (dois) e de parâmetros (seis), além de estar relacionada apenas, aos sistemas estruturalmente estáveis, restringindo, ainda mais o universo de aplicação desta teoria. E, por último, deve-se salientar que o



objetivo primeiro da Teoria da Catástrofe, de apenas explicar os fenômenos ocorridos no passado, foi negligenciado pelos seus seguidores, os quais passaram a utilizá-la na previsão de comportamento futuro das variáveis.

Assim, ao confrontarem as previsões com os resultados observados na realidade, os cientistas verificaram a fragilidade e a falta de consistência da Teoria da Catástrofe e de seus seguidores.

## 2.2 OS PRINCÍPIOS DO CAOS

A noção do caos científico passou a ser estudada e desenvolvida, primeiramente, por um meteorologista do MIT, com o nome de Edward Lorenz. Para melhor ilustrar as variações climatológicas, este cientista havia desenvolvido um tipo de gráfico no seu computador primitivo, que imprimia espaços em branco seguidos de letras, ao invés de números. Tal gráfico permitia a Lorenz evidenciar que os ciclos climatológicos nunca se repetiam com precisão. Mas o que realmente o surpreendeu foi o ocorrido num dia de inverno, de 1961.

Ao tentar examinar mais profundamente uma seqüência e economizar tempo, pois o computador durava horas para imprimir uma seqüência, Lorenz, ao invés de refazer toda a seqüência, começou pelo meio. Assim, no intuito de fornecer as condições iniciais para a máquina, ele digitou os números, diretamente da impressão anterior. Depois de sair para tomar um café, Lorenz voltou ao computador crente de que a nova seqüência seria exatamente igual a anterior. Mas, chegando lá, evidenciou uma grande surpresa: a nova seqüência divergia completamente da anterior.

Depois de constatar que o programa não tinha sido modificado e nem a impressora estava com defeito, Lorenz percebeu que o problema estava nos números que tinha digitado. O computador apresentara seis casas decimais (0,463253, por exemplo), mas a impressora só imprimia três (0,463). Então, ao digitar os números da seqüência anterior, ele colocou na máquina números arredondados, menosprezando a diferença,



uma vez que essa seria de apenas uma para mil e não geraria significativas diferenças nos resultados entre as duas seqüências.

O problema é que Lorenz estava errado; pois ao desprezar as diferenças mínimas entre as condições iniciais das duas seqüências, ele notou que estas diferenças, aparentemente insignificantes, acabaram por gerar diferenças catastróficas entre os padrões das duas seqüências. Estava, assim, evidenciada uma dependência hipersensível das condições iniciais, o que levou Lorenz a formular o princípio do efeito borboleta.

### 2.2.1 O efeito borboleta

Ao aprofundar os estudos no campo da meteorologia e da matemática Lorenz notou que existia uma certa conexão entre a recusa do tempo de repetir-se da mesma forma e a incapacidade dos meteorologistas de prevê-lo; isto é, deveria haver um elo de ligação entre a aperiodicidade dos fenômenos físicos e a sua imprevisibilidade.

Depois de inúmeros estudos, com diversos sistemas de equações, que ilustravam os fenômenos climatológicos, constatou-se que o efeito borboleta não era um acidente, e sim algo necessário, na medida em que o tempo não apresentava ciclos repetitivos e previsíveis. Ou seja, quando o tempo se aproxima arbitrariamente de um regime pelo qual já tenha passado anteriormente, ele não permanece próximo da seqüência de padrões que foi registrada anteriormente.

O efeito borboleta está ligado à idéia de dependência hipersensível das condições iniciais, e estabelece que pequenas modificações nestas condições podem implicar em resultados completamente diversos dos esperados. É famosa a ilustração de Lorenz, que estabelece que o bater das asas de uma borboleta no Brasil pode gerar um tornado no Texas. A respeito do efeito borboleta Gleick fala: "Para pequenas condições meteorológicas (...) qualquer previsão perde o valor rapidamente. Os erros e as incertezas se multiplicam, formando um efeito cascata ascendente, através de uma cadeia de aspectos turbulentos, que vão dos demônios da poeira e tormentas, até redemoinhos continentais que só os satélites conseguem ver". (GLEICK, 1991, p. 18).

Lorenz passou a procurar sistemas de equações que produzissem comportamentos complexos e aperiódicos, e chegou a diferentes sistemas de equações que apresentavam uma característica crucial ao entendimento do caos: a não-linearidade. Os sistemas não-lineares não podem, em geral, ser solucionados, nem somados uns aos outros, e nem desmontados e novamente montados como os lineares; o que os fazem apresentar uma certa aperiodicidade e um comportamento de grande complexidade e riqueza.

Ao desenvolver um estudo maior da dinâmica dos fluidos, Lorenz chegou a um sistema de apenas três equações não-lineares que, quando representado graficamente, apresentava-se num atrator, onde a trajetória nunca se cruzava e o sistema jamais se repetia exatamente; porém nunca extrapolava uma determinada fronteira. O sistema não se repetia, mas compreendia uma área limitada. Assim, a desordem do comportamento do sistema era, ao mesmo tempo, ordenada por um atrator.

O atrator encontrado por Lorenz recebeu o nome de atrator de Lorenz, e tinha a forma de uma máscara de coruja ou de duas asas de borboleta abertas. Este atrator revelava uma estrutura fina e oculta dentro de um fluxo interminável e desordenado de dados, que passaria a ser uma espécie de símbolo dos caos e ilustração do efeito borboleta.

O efeito borboleta está intimamente ligado à idéia de Stephen Smale: o de uma geometria que poderia ser esticada e dobrada. Essa idéia foi apresentada nos anos sessenta e levou o nome de ferradura de Smale.

Ao tentar estudar a complexidade do oscilador de Van der Pol, Smale entendeu que o espaço de fase deveria sofrer um novo e complexo tipo de combinação de transformações, inseridas numa estrutura ilustrada por uma ferradura. O processo de Smale se constitui em dobrar e esticar o espaço de fase, inúmeras vezes, até que a sua superfície se torne bastante longa, fina, e intrinsecamente contida em si mesma.

A ferradura de Smale apresentava infinitas camadas, que Lorenz deduziu também existirem em seu atrator. Além disso, a idéia de esticar e dobrar o espaço de fase se

associa ao efeito borboleta; porque, pontos que começam muito próximos, um do outro, acabam por se afastar suficientemente a ponto de se perderem de vista. Isto é, se forem tomados dois pontos próximos no espaço original não se poderá supor onde acabarão, uma vez que o movimento de esticar e dobrar findará separando estes pontos. Da mesma maneira, se forem encontrados dois pontos próximos, sua localização inicial pode ter sido completamente diferente da atual.

Assim sendo, a idéia de ferradura de Smale adequa-se à idéia de descontinuidade e imprevisibilidade do efeito borboleta, onde a localização futura dos pontos inseridos no espaço de fase é impossível de ser prevista com exatidão.

Deve-se, aqui, dar uma pequena pausa e tentar exemplificar um movimento caótico, para melhor ilustração da questão. Tome-se, como exemplo, a roda d'água lorenziana: "No alto, a água cai constantemente em recipientes pendurados na estrutura da roda. Cada recipiente vaza constantemente por um pequeno buraco. Se a corrente d'água for lenta, o recipiente do alto nunca se enche com rapidez bastante para superar o atrito, mas se for mais rápida, o peso começa a girar a roda. A rotação pode tornar-se contínua. Ou, se a correnteza for tão rápida que os recipientes pesados oscilem durante todo o percurso para baixo e comecem a subir do outro lado, a roda pode diminuir de velocidade, parar e inverter sua rotação, girando primeiro num sentido, depois no outro." (GLEICK, 1991, p.26). O que faria o movimento da roda d'água se tornar imprevisível, aperiódico e caótico.

Sobre a noção de ferradura de Smale pode-se compará-la com uma massa de bolo, na qual são colocados inúmeros ingredientes e misturados entre si (esticando, dobrando, puxando, batendo, etc) até um certo ponto em que fiquem completamente interrelacionados e a massa se apresente intrincadamente contida em si mesma. Assim sendo, dois grãos de farinha de trigo que estavam bastante próximos acabam, no final da mistura, se localizando completamente distantes um do outro.

O atrator encontrado por Lorenz gerou profundos estudos e pesquisas a seu respeito e acabou por levar Ruelle e Takens (dois matemáticos) a indagar a existência de um novo

tipo de atrator de natureza diversa dos tipos conhecidos na época. O raciocínio matemático dos dois levou à ilustração do atrator estranho.

O atrator estranho é o tipo mais comum na natureza. Contudo, é, sem dúvida, o mais complicado e o mais difícil de ser visualizado. Um bom exemplo, visível da monstruosidade do atrator estranho, é o de uma tigela de spaghetti, onde cada fio de macarrão é uma parte do atrator e o molho assegura que os fios de macarrão não sofram contato direto. Assim sendo, o atrator estranho se caracteriza por um emaranhado de órbitas instáveis, que nunca se cruzam.

O atrator estranho é estável, porém é aperiódico; isto é, os loops e espirais, que compõem o atrator, são infinitamente profundos e nunca se cruzam, apesar do atrator permanecer dentro de um espaço finito, parecendo estar confinado numa caixa.

O estudo do atrator estranho demandou um novo tipo de geometria, que podia explicar como um número infinito de percursos e loops podem permanecer num espaço finito sem se cruzarem. Além disso, a própria dimensão do atrator estranho não pode ser explicada pelos princípios da geometria euclidiana, que apenas apresenta dimensões inteiras. Assim, o estudo da estrutura dos atratores estranhos implicou na utilização de uma geometria peculiar e, de certa forma, revolucionária: a geometria fractal.

### 2.2.2 A geometria fractal

Benoit Mandelbrot é um matemático polonês, que desenvolveu uma grande intuição geométrica, a qual se caracterizava pela compreensão de qualquer problema analítico, através da reflexão deste em termos de alguma forma mental. Bastante influenciado pela topologia de Poincaré (seções de Poincaré) e por alguns estudos desenvolvidos por ele, anteriormente, Mandelbrot passou a questionar a geometria euclidiana na descrição de fenômenos da natureza. Segundo ele: "Clouds are not spheres, mountains are not cones, coastlines are not circles, and bark is not smooth, nor does lightning travel in a straight line." (MANDELBROT, 1993, p. L23).

Depois de estudar a variação dos preços de algodão entre 1900 e 1960 e os registros de variação do Nilo detectando os efeitos Noé e José - onde o primeiro está ligado à descontinuidade e o segundo significa persistência - Mandelbrot tomou contato com a questão da linha litorânea inglesa, num obscuro artigo póstumo de um cientista inglês, Lewis F. Richardson, que focalizava um surpreendente número de problemas os quais mais tarde, se tornariam parte do caos.

O artigo de Richardson declarava que qualquer litoral era infinitamente longo, e só dependeria da medição utilizada. Ou seja, se uma régua ou compasso de um metro for utilizado para se medir um litoral, poderá observar-se que alguns recortes e curvas inferiores a um metro não serão registrados, e a extensão total registrada será menor que a registrada com uma régua de 30 centímetros, por exemplo. Assim, quanto mais reduzimos a escala, mais detalhes podem ser captados e maior será a extensão total registrada.

O exemplo do litoral levou Mandelbrot a criticar com maior veemência a geometria euclidiana, na medida em que suas medidas - extensão, profundidade e espessura - não abrangiam a essência das formas irregulares. Ele, então, passou a estudar a idéia de dimensão, e acabou chegando a uma conclusão bastante importante: a noção ordinária de dimensão varia com a escala. Isto é, ao se adotar a idéia de dimensão inteira (1,2,3, etc) da geometria euclidiana, pode-se notar que esta varia na medida em que nos aproximamos de um determinado objeto - uma caneta, por exemplo. A uma grande distância, a caneta parece ter dimensão zero, é apenas um ponto. Chegando-se mais perto, verifica-se que a caneta ocupa um espaço tridimensional; e se nos aproximamos ainda mais, a caneta passa a ser monodimensional.

Mandelbrot notou que a dimensão real de um objeto acaba se distinguindo de suas três dimensões comuns, e estas não poderiam ser apenas inteiras, pois não representariam apropriadamente as irregulares da natureza. Sendo assim, Mandelbrot apresentou a idéia de dimensão fracionada (por exemplo, 1,34), a qual se tornou uma maneira de medir o grau de fragmentação ou de irregularidade de um objeto.

O estudo do litoral levou Mandelbrot a construir a gaseta e o tapete de Sierpinski, e estudar vários padrões irregulares nos processos naturais. Depois de vários estudos, ele notou que todos os fenômenos irregulares apresentavam a mesma característica, já encontrada por ele nas pesquisas de variação dos preços de algodão, onde as variações de curto prazo tinham a mesma estrutura que as de longo prazo. Essa característica é a auto-semelhança.

Se tirarmos uma foto do litoral inglês a uma distância de 10000 metros de altura e tirarmos outra foto de um pedaço do litoral a uma distância de 100 metros de altura, verificaremos que as duas serão bastante parecidas. Nota-se aqui, que as partes do objetos serão bastante parecidas ( talvez até idênticas) com o todo. Gleick fala : "A auto-semelhança é a simetria através das escalas. Significa recorrência, um padrão dentro de outro padrão. Os gráficos de preços e os gráficos de rios de Mandelbrot mostravam uma auto-semelhança, porque não só produziam o detalhe em escalas cada vez menores, como também produziam o detalhe com certas medidas constantes". ( GLEICK,1991, p.98).

Em 1975, Mandelbrot deu um nome para as suas formas, dimensões e geometria. Ao derivar do adjetivo fractus e do verbo fangere , ambos em latim, ele criou a palavra fractal.

Receberam o nome de fractais, as curvas que são irregulares em toda a sua extensão, e ainda que possuem o exato grau de irregularidade em todas as escalas de medida. Então, não importa o fato de se olhar uma forma fractal de bem longe ou num microscópio. Em qualquer caso veremos exatamente a mesma figura.

A natureza possui diversos exemplos de fractais, tais como, os brócolis, os couve-flores, os pinheiros e várias outras plantas , em que o galho é bastante similar ao todo. Os fractais são fáceis de serem notados, mas são difíceis de serem descritos, por isso, a melhor maneira de os entendê-los é através das suas três propriedades básicas : irregularidade; auto-semelhança -que pode ser qualitativa- e a dimensão fractal - fracionada.

O que se notou, ao longo dos diversos anos de estudos e pesquisas, é que os atratores estranhos são, muitas vezes, fractais. E suas fronteiras apresentam uma estrutura fractal bastante peculiar. Além disso, a própria dimensão dos atratores estranhos é uma dimensão fractal; o que explica o fato de não ocorrer cruzamento entre as órbitas instáveis do atrator, uma vez que a órbita é uma linha infinitamente longa numa área finita. A idéia fractal de possuir uma estrutura emaranhada, ordenada, adequa-se ao estudo dos atratores estranhos e, acabou sendo um dos principais fundamentos da abordagem do caos, pois passou a representar uma maneira de descrever, calcular e pensar sobre formas e estruturas irregulares e descontínuas.

Quando as partes são exatamente idênticas ao todo dizemos que o objeto é linearmente auto-semelhante. No caso dos fractais, alguns são linearmente auto-semelhantes, porém os mais importantes e comuns na natureza apresentam um auto-semelhança não-linear, onde as partes são bastante parecidas com o todo, mas não são exatamente idênticas.

Ao desenvolver as noções geométricas introduzidas por Poincaré, Fatou e Julia entre 1875 e 1925, Mandelbrot tentou ilustrar num plano complexo a coleção de pontos resultante das diversas interações e retroalimentações de sua programação - que se consistia em tomar um número complexo elevá-lo ao quadrado e acrescentá-lo ao número original, elevando este resultado ao quadrado, e assim por diante. Chegou-se, então, ao "objeto mais complicado na Matemática": o conjunto de Mandelbrot.

O conjunto de Mandelbrot é o maior exemplo de geometria fractal não-linear, pois apresenta uma complexidade bastante rica através das escalas. Cada incursão mais profunda no conjunto de Mandelbrot traz novas surpresas. Embora existam moléculas-cópias do todo, estas, quando analisadas profundamente, não são exatamente iguais às outras. Ou seja, a tremenda irregularidade e complexidade do conjunto de Mandelbrot, era evidenciada em suas "moléculas" componentes, porém não exatamente da mesma forma. Gleick fala: "Os matemáticos provaram que qualquer segmento - não importava onde, e por menor que fosse - se ampliado pelo microscópio computador, revelava novas moléculas, todas semelhantes ao corpo principal, porém sem ser exatamente igual. Toda

nova molécula estava cercada pelos seus próprios espirais e projeções semelhantes a chamuscas, e estas, inevitavelmente, revelaram moléculas ainda menores, sempre semelhantes, nunca idênticas, executando um mandato de variedade infinita, um milagre de miniaturização no qual todo detalhe novo era, seguramente, um universo em si mesmo, diverso e completo.” (GLEICK, 1991, pág. 221).

Evidenciou-se que a fronteira do conjunto de Mandelbrot era a região que apresentava as mais ricas e complexas formas irregulares e apresentava as propriedades principais dos fractais.

O conjunto de Mandelbrot acabou tornando-se o principal ícone e emblema do estudo do caos, tornando-se, inclusive, capa de várias publicações científicas, e virando objeto de exposição sobre a arte pelo computador. Diversas formas fractais podem ser criadas por processos de programação, em computador, mas só há um conjunto de Mandelbrot - o mais fractal dos fractais.

O estudo do conjunto de Mandelbrot encontrou contribuições de várias áreas da ciência. Dentre os diversos estudos podemos destacar a teoria universal de Feigenbaum.

### 2.2.3. O universalismo e alguns indicadores do caos

Ao voltar-se para o estudo das mudanças de fase, Feigenbaum começou a utilizar equações simples com retroalimentação, e notou que do caminho da ordem para a turbulência (ou desordem), o sistema apresentava um grande número de duplicação de períodos - a divisão de dois ciclos em quatro, de quatro ciclos em oito, e assim por diante. Notou, também, que os números convergiam, geometricamente, e a duplicação dos períodos ocorria cada vez mais depressa e num ritmo constante.

Feigenbaum, ao verificar a presença da convergência geométrica, calculou a razão dessa convergência e obteve o número 4,669 - mais tarde chegou ao número exato: 4,6692016090. O mais impressionante é que ele, ao fazer o mapeamento trigonométrico, encontrou a mesma regularidade geométrica evidenciada na outra função mais simples.



Feigenbaum, então, observou uma auto-similaridade entre diversas equações de natureza completamente diferente. Teria, assim, encontrado a universalidade.

Segundo Stewart : “A universalidade (...) é relativa, não absoluta. O fator de escala é sempre 4,669 para um mapeamento de uma corcova, desde que ela se assemelhe a uma parábola. Para múltiplas corcovas ou formas de corcova acentualmente diferentes (...) o fator escala é diferente. Nesse caso, porém, há uma outra série completa de mapeamentos que têm o novo número como fator de escala. A série imensamente variada dos mapeamentos é englobada em classes de universalidade, e em cada classe o fator de escala é sempre o mesmo.”(STEWART,1993.p. 223).

A idéia de universalidade poderia ser ilustrada com a estrutura de uma figueira, onde os atratores de período 2 formam dois galhos mais curtos e destes brotam galhos menores, de período 4, e depois ramos de período 8, e assim por diante. As razões entre o tronco e o galho e o galho e os ramos serão as mesmas e estarão próximas a 4,669.

A universalidade oferecia a idéia de que, se os físicos resolvessem um problema fácil poderiam resolver problemas muito mais difíceis, pois as respostas seriam as mesmas, tornando fácil o teste de uma classe particular de modelos caóticos por meio do experimento, na medida em que apresentava a noção de que diferentes sistemas se comportariam de maneira idêntica.

Vale ressaltar que a universalidade também pode significar que não se poderá , por meio de experimento, distinguir as diferentes medidas de uma determinada classe de universalidade.

O estudo mais aprofundado do caos levou os cientistas a identificarem alguns indicadores estatísticos e matemáticos, característicos dos sistemas não-lineares e prováveis indicadores do grau de desordem de um determinado sistema. Estes indicadores estão ligados à quantificação do caos. E entre eles podemos destacar alguns:

\* Teorema do Período-três: Tien-Yien Li e James Yorke descobriram que - no caso de um sistema que apresente um conjunto de pessoas, ou inseto, ou moléculas - se ocorre uma sequência de três gerações sucessivas, onde esse conjunto cresce em dois períodos sucessivos, e decresce em um, até retornar ao seu nível original, esse sistema, então, é caótico. Este indicador é bastante importante no estudo de sistemas unidimensionais, mas não é eficaz no estudo de sistemas de maior dimensão.

\* Expoente de Lyapunov: este indicador mede o grau de separação entre dois pontos do sistema os quais se localizam próximos um do outro na origem. Existem dois indicadores de separação: um que mede a separação no sentido horizontal e outro que mede a separação vertical; logo o sistema apresenta dois expoentes de Lyapunov. Se qualquer um dos dois expoentes apresentar um sinal positivo, indicará que existe uma taxa positiva de separação das condições iniciais numa dada direção; assim sendo o sistema é caótico.

\* Correlação de Dimensão: num processo caótico a trajetória de quase todo ponto de partida engloba todo o espaço do atrator; porém existem algumas regiões que são visitadas com maior frequência. A dimensão de correlação é um número que mede o grau em que o atrator do sistema ocupa seus próprios espaços. Ou seja, este indicador determina a frequência que os pontos do atrator são visitados. Se a dimensão de correlação possuir um valor muito acima de um, o sistema será, provavelmente, caótico. A certeza só será evidenciada se, todos os outros indicadores confirmarem o caráter caótico do sistema.

\* Entropia de Kolmogorov: mede a velocidade com que dois pontos inicialmente muito próximos se dispersam até se tornarem facilmente distinguíveis um do outro. Este indicador mede a sensibilidade de dependência das condições iniciais, e caso apresente um valor diferente de zero comprovará a existência do caos determinístico.

\* Box-counting dimension: mede a dimensão do atrator e comprova se esta é fractal ou não.

\* Estatística BDS (Brock, Dechert & Scheinckman): desenvolve um teste geral de dependência da série de dados, testando a não-linearidade e a correlação serial.

\* Teste residual : confirma a presença de caos determinístico na série estudada, e o faz através da estimativa da entropia de Kolmogorov e de modelos ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) ou GARCH (Generalized ARCH).

\* Expoente de Hurst: está ligado ao estudo dos fractais e é derivado da análise de rescalonamento de amplitude (rescaled range analysis), desenvolvida por H. E. Hurst (1900-1978). Esse instrumento estatístico mede a memória dos eventos e varia entre zero e um. Se  $0,50 < H < 1,00$ , o expoente de Hurst indica uma série de tempo persistente, onde os efeitos são de longa memória. Teoricamente: o que acontece hoje gera impactos no futuro sempre, ou em termos caóticos, existe uma sensível dependência das condições iniciais. Se  $0 < H < 0,50$ , existe uma anti persistência no sistema. Um sistema anti persistente cobre menor distância do que um sistema aleatório. Para um sistema cobrir menos distância, tem que se reverter, por si mesmo, mais frequentemente do que um sistema aleatório. Se  $H = 0,50$ , ilustra um processo independente, isto é, tem uma distribuição normal, onde os eventos são aleatórios, sem dependência entre si. Estudos empíricos indicam que a série persistente ( $0,50 < H < 1,00$ ) é a mais comum na natureza. Embora tenha sido desenvolvido a partir de estudos sobre a variação do nível de água do Nilo, o expoente de Hurst é amplamente aplicado em diferentes áreas da ciência, principalmente na Economia.

#### 2.2.4 Comentários

Vale a pena fazer-se, aqui, uma distinção entre as duas principais variações e manifestações do estudo do caos: o caos determinístico e o caos sensível. O primeiro é gerado a partir de modelos e sistemas dinâmicos expressos de forma matemática, através de equações não-lineares de características simples, ou não. O caos determinístico é encontrado em sistemas que, teoricamente, se enquadram em modelos ordenados. Ou seja, existe um comportamento aperiódico e imprevisível do sistema, embora ele esteja todo fundamentado e possa ser explicado através de equações matemáticas já conhecidas

por Newton e seus adeptos. Surge, assim, uma desordem num sistema ordenado. O caos determinístico é estudado através de equações não-lineares e de indicadores estatísticos, como os que foram ilustrados acima.

O caos sensível está ligado à idéia de caos estruturado e estável e nasce da observação e contemplação de fenômenos da natureza. Estabelece que fenômenos aparentemente aleatórios apresentam-se intrinsecamente ordenados e, o que é mais incrível, existe uma similaridade de comportamento entre fenômenos completamente diferentes. Mandelbrot foi um grande estudioso do caos sensível e apontou - através de observações de fenômenos físicos do mundo real - a existência de um certo padrão nos fenômenos e indicou que existe uma similaridade, apesar de não ser exata, na diversidade. Como é o caso do pinheiro, que apresenta em seus galhos uma estrutura bastante similar a da planta.

A noção do caos sensível fica bastante interessante se comparada com a turbulência , que apresenta um movimento irregular antecedido por movimentos regulares. Um bom exemplo é o da torneira, onde se verifica que, se for aberta um pouco, as gotas cairão numa frequência regular; contudo, se aberta com mais intensidade o padrão das gotas, em queda, tornar-se-á irregular. O que é interessante é que, apesar de ser irregular, a turbulência é facilmente contemplada. Uma cachoeira nunca é igual a outra, mas é facilmente identificada. Outro fato que exemplifica o caos sensível é o desenho de uma mangueira: se for solicitado a algumas pessoas que desenhem uma mangueira, será observado que cada uma irá desenhar uma mangueira completamente diferente; porém , mesmo assim, essas pessoas reconhecerão imediatamente o desenho de cada uma delas. Existe, então , um padrão entre as irregularidades da natureza.

O caos não é sinônimo de acaso. Muito pelo contrário, o caos nasce de um sistema determinístico, onde o comportamento futuro do sistema, apesar de parecer imprevisível e parecer aleatório, está limitado a uma certa região do espaço de fase : o atrator. O acaso se caracteriza por fenômenos aleatórios, totalmente independentes uns dos outros, que só podem ser estudados através das leis probabilísticas da Estatística. O caos, então,

se comporta de maneira similar ao acaso, mas não possui natureza aleatória e está ligado a sistemas determinísticos.

Deve-se, também, esclarecer um questionamento que pode surgir em relação ao caos : como o caos pode ser determinístico e imprevisível ao mesmo tempo ? O fato é que o termo determinismo foi, e é, frequentemente confundido com previsibilidade. Um sistema é determinístico se seu estado futuro é completamente determinado pela dinâmica dos estados precedentes. Isto é, o sistema determinístico é aquele que seu comportamento futuro depende de suas condições iniciais. Assim, alguns sistemas podem ser determinísticos e podem - com o estudo de suas condições iniciais - ter seu comportamento futuro previsto com facilidade. Porém, este não é o caso dos sistemas caóticos.

Uma das mensagens do caos é que existem sistemas que são impossíveis de terem seu comportamento futuro previsto com exatidão, uma vez que é impossível de se conhecer com exatidão suas condições iniciais. Os futuros estados desses sistemas nunca poderão ser conhecidos com antecedência, pois a natureza de suas condições iniciais as tornam incomputáveis e tornam imprevisível o sistema determinístico. Como diz Paul Davies: "What can we conclude about Laplace's image of a clockwork universe? The physical world contains a wide range of both chaotic and non-chaotic systems. Those that are chaotic have severely limited predictability, and even one such system would rapidly exhaust the entire Universe's capacity to compute its behaviour. It seems, then, that the universe is incapable of digitally computing the future behaviour of even a small part of itself. Expressed more dramatically, the universe is its own fastest simulator"(DAVIES, 1993, p.220).

O estudo científico do caos está ligado à era da computação e sem a disponibilidade do aparato computacional, o caos não poderia ser amplamente estudado como é feito atualmente. Os princípios do caos vêm proporcionando diversas contribuições à pesquisa científica, nas mais diversas áreas do conhecimento. O estudo da mancha de Júpiter; o estudo da estrutura fractal dos pulmões; o estudo da arritmia das batidas cardíacas; o estudo de circuitos elétricos; o estudo do cérebro, a morfogênese; e

o estudo de fenômenos econômicos são alguns exemplos das diversas áreas do conhecimento que vêm usufruindo dos resultados e dos instrumentos de análise da abordagem do caos.

No capítulo seguinte chegaremos a aplicação dos princípios e instrumentos do caos à Economia.

### 3 O CAOS NA ECONOMIA

O presente capítulo tem como objetivo demonstrar, através de exemplos e ilustrações, a viabilidade da aplicação dos princípios do caos na explicação de fenômenos econômicos. Espera-se, então, interpretar alguns comportamentos econômicos através da ótica do caos.

Além disso, este capítulo mostrará como a tentativa desesperada de aplicação do caos no mercado financeiro acaba, em alguns casos, por banalizar e gerar a perda da credibilidade dos princípios do caos junto a alguns membros da comunidade econômica.

#### 3.1 ECONOMIA E CAOS

As ciências sociais, entre elas a Economia, admitem a existência da incerteza: a admissão da possibilidade da decisão crucial e criativa do indivíduo implica na admissão da possibilidade da incerteza. Esta seria o resultado da liberdade do agente social em estabelecer um propósito e perseguí-lo como julgar melhor.

A incerteza na economia está ligada, entre coisas, às decisões individuais e coletivas dos agentes econômicos, e pode ser verificada através da observação de flutuações existentes, tanto nas variáveis macroeconômicas como nas microeconômicas.

A idéia central é que as variáveis econômicas são mutáveis e estão completamente aptas às mudanças de maior ou menor magnitude. Tais mudanças ou flutuações ocorrem nas diversas áreas de estudo da Economia; dentre elas destacam-se: flutuações microeconômicas - onde os preços e as quantidades das variáveis individuais flutuam em períodos e amplitude irregulares; flutuações macroeconômicas - onde em variáveis e índices agregados representando a Economia como um todo, existem flutuações irregulares sem estabelecerem padrões bem definidos; crescimento, onde os ciclos de crescimento não se sucedem de maneira suave e sim de forma bastante irregular, e desenvolvimento, onde se verifica que a própria mudança na estrutura de funcionamento

da Economia se apresenta de maneira não-linear: ondas de consumo, tecnologia e organização se sobrepõem de maneira irregular.

Na teoria econômica alguns economistas tentaram explicar a razão e a natureza das irregularidades cíclicas da economia e chegaram a formular teorias a respeito deste assunto. Entre estes economistas pode-se destacar Schumpeter, o qual destacou que a história das relações sociais pode ser explicada mais ou menos mecanicamente e impessoalmente por forças econômicas e sociais; porém ações individuais (consideradas como pequenas perturbações) podem ter uma influência profunda sobre o sistema e sobre ele produzir grandes efeitos. O papel catalisador do empresário de Schumpeter - através de sua criatividade e inovações tecnológicas acaba por gerar uma realocação de recursos e por influenciar no desenvolvimento econômico do sistema - é um exemplo de que alguns economistas já tratam da questão das flutuações econômicas e do desenvolvimento descontínuo desde a primeira metade do nosso século.

Apesar de aceitarem a existência da incerteza na Economia, a maioria dos economistas preferiram tratar do conceito de ordem como estado limite, onde se supõe convergir todas as flutuações e oscilações econômicas. Assim sendo, todo movimento tende a convergir para o equilíbrio e para a ordem. No caso dos fenômenos econômicos imprevisíveis adotou-se a idéia de aleatoriedade. Isto é, os comportamentos dos fenômenos não são previstos com precisão, pois os processos sociais estão sujeitos a choques aleatórios externos à dinâmica econômica.

Assim, alguns economistas defendem que o sistema econômico tende sempre a culminar na ordem; porém esta não é sempre alcançada, devido a fenômenos casuais externos, que não estão inseridos na estrutura determinística do sistema.

Os princípios do caos vêm apresentar uma nova ótica a respeito do dilema entre ordem e acaso. A abordagem do caos admite a convivência entre ordem e desordem, onde existe uma estrutura ordenada por detrás da desordem aparente dos fenômenos econômicos. Ao contrário da noção do acaso, o caos não está ligado a forças exógenas e sim a fatores internos da própria estrutura do sistema econômico. Ao considerar-se os fenômenos



econômicos como caóticos, está afirmando-se que a desordem aparente, observada na análise e previsão dos fenômenos, está ligada a resultados imprevisíveis, porém não aleatórios e não arbitrários.

Segundo Carvalho: "A teoria do caos, portanto, reforça o campo da ordem versus a desordem, ao mostrar que, na verdade, parte do que foi concebido no passado a esta última resultou mais da ignorância dos observadores que da natureza dos próprios processos. A teoria do caos mostra as dificuldades de estabelecer previsões teóricas mesmo em processos ordenados; não porque o espaço de ordenação seja limitado, mas porque é complexo"(CARVALHO,1993,p. 105).

A aplicação dos princípios do caos na Economia vem sendo feita cada vez mais, com maior veemência e cientificidade. O próprio uso de alguns indicadores matemáticos e estatísticos, característicos da análise do caos, na explicação do comportamento das variáveis econômicas, demonstra que a abordagem do caos vem ganhando maior força nas ciências econômicas.

Vários economistas vêm utilizando as noções de não-linearidade e de desordem ordenada em diversas áreas de estudo da Economia. O caráter instável das decisões empresariais, as flutuações aperiódicas do mercado de ações, os grandes efeitos provocados por crises econômicas aparentemente locais e sem grande poder de propagação, os choques de políticas governamentais sobre a economia, etc são todos encarados e interpretados, por alguns economistas, como indícios do uso do estudo do caos na Economia.

A utilização da abordagem do caos leva alguns economistas a encararem determinados problemas e situações econômicas de maneira diferente da maioria, que ainda está presa a uma ótica linear e determinística do funcionamento da economia. Esta maioria, ao adotar o método de estática comparativa e analisar os diferentes pontos de equilíbrio do mercado, ao longo do tempo, parte para uma conclusão gráfica equivocada, que estabelece que os pontos de equilíbrio são ligados por uma reta. Ou seja, entre uma situação de equilíbrio verificada em 1994, por exemplo, e uma outra situação de

equilíbrio verificado em 1995, as variáveis econômicas se comportaram de maneira linear, sem grandes saltos ou grandes depressões.

Alguns economistas, hoje em dia, tentam mostrar que os fenômenos econômicos são, essencialmente, não-lineares e a transição entre pontos de equilíbrio não se faz, necessariamente, de maneira linear e harmônica. Enquanto uns pensam que os erros das previsões econômicas se devem a fatores casuísticos e exógenos ao sistema, outros acreditam que é a própria dinâmica não-linear do sistema que explica a imprevisibilidade econômica.

As próprias noções de “movimento da curva” e “movimento na curva”, na análise gráfica da Economia, acaba perdendo certa validade para alguns economistas, que preferem encarar tais deslocamentos como não-lineares e de aparência randômica.

Várias correntes da teoria econômica vêm abraçando as noções do caos e tentando adequá-las à sua concepção ideológica. Ou seja, além de servir como instrumento de análise econômica, o caos vem sendo utilizado como meio de comprovação de teorias a respeito da realidade econômica. Assim, o estudo do caos vem sendo usado para justificar algumas idéias a respeito do funcionamento da Economia como, por exemplo, o caráter de imperfeição do funcionamento do mercado, a maior ou menor intervenção do Estado na economia, a forma de intervenção na economia, a ênfase das políticas macroeconômicas, etc.

Alguns economistas vêm utilizando os princípios do caos para demonstrar o caráter perigoso da intervenção governamental na economia. Estes acreditam que as flutuações e a instabilidade são características da própria estrutura interna do mercado; e uma intervenção governamental, como uma política fiscal por exemplo, para tentar corrigir a instabilidade do mercado nunca obterá êxito e a agravaria ainda mais. Assim, seria preferível que o governo não gastasse dinheiro para estabilizar o mercado, pois além de não gerar nenhum resultado real positivo e agravar a instabilidade, o governo estaria “jogando fora” dinheiro do contribuinte.

Existem outros economistas que se utilizam da noção e do conceito do caos para explicar as flutuações no comportamento das variáveis econômicas. Por exemplo, existem alguns que explicam a instabilidade do impacto do aumento da renda sobre o investimento como indicio de comportamento caótico. Estes economistas adotam a função kaldoriana de investimento - que estabelece que níveis mas baixos de renda desestimulam o investimento, enquanto que níveis altos de renda estimulam bastante o investimento - e tentam explicar a relação não-linear existente entre o aumento da renda e o aumento do investimento.

O aumento da renda, fatalmente, provoca um aumento do investimento, pois a expectativa de consumo e o poder de compra estimulam o empresariado a investir. Porém, o aumento da renda também provoca um efeito desestimulante no investimento: promovendo um aumento da demanda por moeda, gerando uma pressão para um aumento das taxas de juros do mercado. Assim, este aumento da taxas de juros, se efetivado, acaba por desestimular o investimento. Estes economistas dizem que a combinação destes dois efeitos vai determinar o comportamento caótico do investimento, que irá apresentar flutuações não repetitivas e acrílicas.

No tópico seguinte se tentará fazer uma ilustração de exemplos da aplicação dos princípios da abordagem do caos na explicação do comportamento dos fenômenos econômicos, e também um questionamento a certos métodos econométricos.

## 4.2 CAOS NA ECONOMIA

A) Antes de se ater na ilustração da aplicação prática do caos na realidade econômica deve-se tecer alguns comentários acerca do uso de certos métodos utilizados na Econometria.

A construção de modelos econométricos geralmente pressupõe a impossibilidade de mensuração exata de todos as variáveis adotadas pelo modelo. É inevitável a ocorrência de alguns erros e aproximações, que são consideradas de caráter aleatório. Alguns econometristas acreditam que a ocorrência de alguns desvios aleatórios não altera os

resultados gerais dos modelos, ou seja, alguns erros não impedem que os resultados sejam aproximadamente exatos e inclusos dentro de um intervalo de confiança aceitável.

A aplicação de certos métodos econométricos, como o modelo linear padrão, acaba estabelecendo uma certa linearização de todas as variáveis da economia real e considerando os eventos que não se enquadram à linearidade como erros aleatórios. A grande questão é que muitos desses eventos não-linearizáveis não são meramente estocásticos, e sim apresentam uma característica não-linear. Isto é, os modelos econométricos, ao imporem uma linearização do comportamento dos dados econômicos, acabam considerando eventos não-lineares como erros e, o que é pior, os consideram como sendo de natureza aleatória. Esse desprezo em relação aos eventos não-lineares se dá pelo fato dos econométricos os considerarem como insolúveis e instáveis (o que é verdade) e não facilmente observáveis na Economia.

O que se verifica, hoje em dia, é que os fenômenos econômicos têm, geralmente, um caráter não-linear e muitos dos erros de previsão econométrica estão relacionados ao desprezo e omissão das não-linearidades dentro dos modelos econométricos. Segundo Damásio: "Na verdade, se por um lado surgiam dificuldades em fazer a estimação de fenômenos não-lineares da realidade através de modelos lineares, por outro, quando se partia para métodos computacionais iterativos não-lineares, a convergência se tornava problemática. Hoje é possível saber que no primeiro caso procurava-se submeter a desordem caótica - aparentemente aleatória - da realidade à lógica dos modelos lineares. No segundo caso, os modelos estocásticos não-lineares, quando submetidos a processo iterativo, potencialmente geravam trajetórias de caos determinístico. Caos estruturado, estável, dos fenômenos da realidade observável de um lado; e caos determinístico do outro." (OLIVEIRA FILHO, 1994, p. 170).

Nota-se, então, que a noção de não-linearidade dos fenômenos, apresentada pela abordagem do caos, explica - porém não totalmente - a ocorrência de disparidades imensas entre os modelos econométricos e a realidade observada.

B) Um exemplo de comportamento caótico, não-linear, observado na Economia é o estudo de Baumol e Wolff a respeito dos retornos observados entre P&D ( Pesquisa e Desenvolvimento) e o aumento de produtividade.

A análise de Baumol e Wolff é centrada em três aspectos: i) a produção de informação, que estimula a produtividade industrial; ii) a produção e a disseminação da informação tem uma produtividade menor que a industrial e, por isso, as custos de informação crescem mais que o ritmo de crescimento da produtividade industrial; iii) quando isso ocorre outros insumos substituem a informação e esta tem sua demanda desestimulada impedindo o crescimento da produtividade.

Segundo os autores o fato de, entre 1967 e 1990, os gastos em P&D terem crescido 36% e o número de cientistas e engenheiros empregados ter crescido apenas 21% está relacionado à característica dupla do setor de P&D, que se apresenta composto por um segmento em que a produtividade cresce exponencialmente (composta por máquinas, eletrônicos, etc) e um setor de baixo crescimento de produtividade - formado por técnicos, engenheiros, cientistas, etc. Assim como a P&D, o setor de computação e o setor de telecomunicações apresentam um segmento em que os custos unitários decrescem bem mais rápido do que o outro, no caso da computação o custo relativo de mão-de-obra especializada ( em softwares e serviços em geral) cresceu de 5% para 80% entre 1973 e 1978, devido à redução incrível do custo de hardware não acompanhada pelo software.

Nota-se que o setor de serviços apresenta um crescimento de produtividade bem mais baixo que o do setor de manufaturas, e que este tende a representar um custo relativo cada vez menor no P&D. Então, o preço da informação é determinado, em última instância, pelo preço relativo do setor de baixa produtividade: o setor de serviços.

Baumol e Wolff acreditam que a descontinuidade observada no investimento em P&D, ao longo da década de 70, se explica pelo fato de em alguns setores de baixa produtividade, principalmente serviços, o custo crescente do investimento em P&D - que tinha objetivo de aumentar a produtividade - acabou por impedir o próprio aumento da

produtividade; pois esta não acompanhou o aumento dos custos relativos de P&D. Assim, nestes setores a demanda por P&D foi reprimida contribuindo, ainda mais, para o não aumento da produtividade e deixando o setor, em algumas circunstâncias, estagnado.

Os dois economistas estabelecem que o comportamento do P&D é descontínuo, não-linear e caótico e se dá, justamente, pela existência de vários setores na economia, onde os resultados dos investimentos em P&D são completamente diversos. Para eles: "The analysis indicates that if there really is a feedback relationship between information activity and productivity growth in industry, then there arise several possible prospects, each relevant for policy. First, there is the possibility of a non-self-terminating sequence of stages involving monotonically declining productivity growth and information production. This is certainly a disturbing prospect for productivity policy. Second, the model indicates that the intertemporal mechanism may well be oscillatory in character, and may thus entail a succession of hiatuses in productivity growth which are highly costly to society. Finally, the analysis indicates that the feedback process may well be capable of generating chaotic behavior." (BAUMOL, 1992, p.372)

C) William Brock e Chera Sayer desenvolveram alguns estudos para verificar se os ciclos comerciais podem ser, ou não, caracterizados por um comportamento de caos determinístico.

Ao estabelecerem vários testes, utilizando-se de alguns indicadores estatísticos e matemáticos, como o expoente de Lyapunov e os testes de hipótese, eles tomaram como objetos de análise: a taxa de desemprego entre 1949 e 1982; a produção de ferro, a produção industrial americana, o investimento privado e o PIB americano. E evidenciaram a existência de caos determinístico de baixa dimensão em alguns destes. A evidência de não-linearidade é forte no desemprego, emprego, produção industrial e produção de ferro; porém é fraca no investimento privado doméstico americano e zero no PIB americano.

Embora a evidência de caos determinístico seja, de forma geral, baixa nos dados observados, Brock e Sayer acreditam que a observação da não-linearidade entre alguns

do objetos observados caracteriza a existência e a aplicação dos princípios do caos na explicação dos ciclos comerciais e econômicos, e consideraram oportuna uma maior análise e pesquisa do caos na Economia.

D) Um exemplo de interpretação de fenômenos observados na realidade econômica, através dos princípios do caos, é o estudo de Brian Arthur, do Santa Fe Institute, sobre os paradoxos da Economia, e que foi ilustrado por Casti (1994), no exemplo dos videocassetes.

Quando os videocassetes começaram a se tornar populares e a se caracterizarem como eletrodomésticos, o mercado apresentava dois modelos de videocassete: o VHS e o Beta, vendidos a preços semelhantes. Tanto o VHS como o Beta, quando lançados, possuíam a mesma fatia de mercado, porém com o passar do tempo o modelo VHS ganhou predominância e "expulsou" o Beta do mercado.

No início, o mercado de videocassetes era extremamente instável e era impossível se dizer qual modelo iria vencer a competição pelo mercado. A instabilidade do mercado de videocassetes possibilitou que pequenas mudanças nas estratégias de competição dos dois modelos gerassem efeitos enormes sobre o controle do mercado. Enquanto que os fabricantes de VHS encorajaram mais as locadoras de vídeo a estocarem maior número de filmes em VHS, para assim, estimular as pessoas a comprarem mais máquinas deste formato, os fabricantes de Beta investiram na maior qualidade do produto.

Assim, as diferenças de estratégia de competição de mercado, aliado a outros pequenos fatores (corporativismo, sorte, etc), tenderam a inclinar o mercado instável em direção ao modelo VHS, que era tecnicamente inferior ao Beta.

E) Existe um exemplo de, como decisões empresariais, na área da administração da empresa, provocam comportamentos caóticos e resultados imprevisíveis. O "jogo da cerveja" vem sendo utilizado há vários anos por diversas escolas americanas e européias nos seus cursos de pós-graduação em Administração.

O jogo é uma simulação, onde os jogadores representam papéis: ou de vendedor (que tem contato direto com o consumidor), ou de distribuidor ( que recebe a cerveja da fábrica e a distribui entre os mercados principais), ou de vendedor regional ( que recebe a cerveja do distribuidor e a aloca entre os supermercados, vendas, bares, etc). Todas essas funções desempenhadas permitem que se chamem a todos os agentes de “negociantes”. As regras do jogo determinam que os vendedores fazem pedidos aos regionais, estes fazem pedidos aos distribuidores, e estes ordenam à fábrica o número necessário de caixas de cerveja para atender a demanda. Além disso, existe um intervalo de tempo entre o pedido e o envio do produto de uma semana para cada estágio da estrutura.

Cada jogador tem como objetivo possuir um número de caixas suficiente para satisfazer as demandas dos consumidores sem que haja um acúmulo de estoque, pois os penalizaria e representaria um aumento dos custos. Assim, o vendedor vai pedir uma quantidade suficiente para, apenas, cobrir a demanda antecipada da próxima semana, e o vendedor regional fará o mesmo em relação ao distribuidor, que vai apenas pedir à fábrica uma quantidade que cubra a demanda antecipada do vendedor regional.

O jogo começa com uma demanda constante dos consumidores de quatro caixas de cerveja por semana. Depois de algumas semanas, a demanda dobra para oito caixas por semana, e aí permanece até o final do jogo. Seria prático supor-se que os jogadores poderiam ajustar este desequilíbrio instantaneamente dobrando o número de pedidos de cerveja. Mas isso não ocorre, pois os jogadores resolveriam analisar se o aumento de demanda era temporário ou não, e acabariam por aumentar o número de pedidos numa escala inferior ao aumento de demanda. Com isso, a demanda excederia o inventário e a reposição de estoques por várias semanas, o que acabaria gerando então, posteriormente, pedidos acima da demanda, e caso se verificasse o aumento de demanda como permanente, o aumento dos pedidos seria muito maior, pois, além de repor estoques se teria o objetivo de se satisfazer a demanda futura de cerveja.

Visto isso, o comportamento entre pedidos de cerveja e demanda de cerveja é completamente não-linear e caótico, apresentando-se cheio de oscilações e descontinuidades aparentemente aleatórias. Segundo Savití: “For example, by about the



30th week, it is quite common to see distributors ordering 40 cases of beer per week from the brewery, even though consumers are buying a total of only eight cases of beer per week" (SAVITL, 1994, p.180).

O estudo de vários anos de aplicação do "jogo da cerveja" em várias universidades mostra que a dinâmica do "jogo da cerveja" contém vinte e sete variáveis características que contribuem para a maior complexidade do comportamento do sistema.

### 4.3 CAOS NO MERCADO FINANCEIRO

A maior aplicação dos princípios do caos na realidade econômica está no segmento do mercado financeiro. Vários investidores e especuladores vêm adotando os princípios do caos para explicar o comportamento dos mercados, na seleção das carteiras de ativos e nas decisões de quando comprar e vender seus ativos financeiros.

O crescente aumento da popularidade do caos junto aos analistas financeiros demandou aos economistas novos estudos e teorias, a respeito da aplicação do caos no estudo da dinâmica do sistema financeiro.

Alguns autores tentam mostrar a aplicabilidade do caos no estudo dos mercados internacionais de ações e de derivativos. Peters, 1994, faz uma análise estatística de diferentes mercados de ações (retornos em diversos dias: 5 dias, 10 dias, 90 dias, etc) e verifica que a distribuição de frequências apresenta um "rabo" mais gordo e os "picos" são maiores que os da curva normal. Isto mostra que o risco de ocorrer um grande evento é maior do que o da curva normal. Além disso, verifica-se que tanto os investimentos de 5 dias como de 90 dias apresentam o mesmo risco (auto-semelhança). O autor ainda afirma que os "rabos gordos" são evidências de uma memória longa do sistema gerado por um processo estocástico não-linear.

O princípio do caos que vem sendo mais aplicado no mercado financeiro e, principalmente, no mercado de ações e de futuros é a noção da existência de uma

estrutura fractal no sistema financeiro. O mercado financeiro passa, então, a ser visto como um todo, onde existe uma auto-semelhança entre as diversas escalas e horizontes de investimento e especulação. Isto é, as oscilações e flutuações no comportamento dos ativos financeiros estão inseridos num atrator de dimensão fractal (fracionada) e não são frutos do acaso.

Uma vez considerada a aplicação dos fractais no mercado de capitais, deve-se fazer uma comparação entre a EMH (Hipótese do Mercado Eficiente) e o FMH (Hipótese do Mercado Fractal). A primeira considera as observações independentes umas das outras, ou seja, existe uma memória curta entre uma observação passada e a recente, não ocorrendo interferência na última. Além disso, a EMH declara que todos os investidores têm igual acesso à informação e, por isso, agem racionalmente. Esta hipótese vale para justificar o uso de instrumentos estatísticos que requerem independência entre as variáveis (passadas e futuras), onde os preços são rotulados de "aproximadamente normais" (mas sem grandes mudanças). Esta hipótese determina que as mudanças nos preços são provocadas pela aparição de uma informação nova, a qual não pode ser antecipada pelo mercado e, por isso, os movimentos dos preços são de caráter aleatório e imprevisível. Porém caso não ocorra o aparecimento de novas informações a economia ficará estável e previsível. Peters (1994) fala da importância da liquidez (a qual a sua falta pode levar a enormes quebras) e destaca que a EMH não trata dela. O autor deixa claro que um mercado eficiente (que existem compradores para todos os vendedores e vice-versa) é diferente do mercado estável (mercado líquido), onde os preços são perto dos "preços justos"; fato que não ocorre no mercado eficiente.

A FMH enfatiza o impacto da liquidez e dos horizontes de investimento no comportamento dos investidores. Esta enuncia que os investidores devem dividir os mesmos níveis de risco (com o ajustamento feito da escala de horizonte de investimento) e isto faz com que a frequência dos retornos seja a mesma nas diferentes escalas (auto-semelhança). Os mercados se tornam instáveis quando a estrutura fractal é rompida e ocorre quando as previsões de longo prazo se tornam incertas (períodos de crises econômicas e políticas). Peters afirma que, enquanto os investidores de diferentes horizontes estão participando, o pânico de um horizonte pode ser recompensado por

outro, mas se o mercado possuir um mesmo horizonte, então se torna instável (isto é gerado pela falta de liquidez causada pela uniformidade do horizonte de investimento). Afirma, ainda, que o regime caótico ocorre quando os investidores perdem a fé na informação fundamental de longo prazo.

Alguns estudos empíricos evidenciam a existência de comportamento caótico nos mercados financeiros. Peters, por exemplo, realizou um estudo utilizando-se da análise R/S (ligada ao expoente de Hurst) sobre os retornos mensais de janeiro de 1950 a julho de 1988, do índice Standard & Poors (S&P 500) e estimou um expoente de Hurst igual a 0,78. Esse resultado demonstrou o comportamento persistente da série considerada, dando evidências do comportamento fractal da distribuição de probabilidade. Vários estudos como o acima ilustrado vêm contrariar a idéia de que os mercados financeiros agem como roletas de jogos, defendida pela hipótese do mercado eficiente (EMH).

O estudo mais aprofundado do comportamento dos mercados financeiros mostra que informação e os horizontes de investimento variam entre os investidores: para os especuladores ("short-term investors") o que interessa é a variação dos preços e não o valor intrínseco das ações - seguem análises técnicas - e, os investidores de longo prazo não se interessam por variações diárias e, por isso, são menos sujeitos a grandes mudanças de comportamento - seguem análises fundamentais.

A análise dos parâmetros de controle é crucial para a determinação das flutuações dos preços nos mercados de capitais, pois são eles que governam a parte determinística da dinâmica dos mercados. Os principais parâmetros de controle são: os técnicos e os fundamentais, onde os primeiros expressam (ou medem) a psicologia do mercado ou de sentimento do investidor, e é expresso pela letra "K", a qual pode variar entre 2,2 (quando a psicologia da "multidão" domina os pensamentos do investidor) e 1,8 (onde o investidor é completamente racional independentemente dos sentimentos da "multidão"). O segundo mede a influência dos fatores externos de ordem fundamental analisando fatores históricos e estruturais, e é representado pela letra "H", a qual pode variar de +2 (fortemente positivo) a -2 (fortemente negativo).

Vaga, 1994, destaca que o mercado pode se encontrar em alguns estados (ou fases), e a depender em que estado esteja os riscos e os retornos serão maiores ou menores. Os principais tipos de mercado são: aleatório, transição instável, mercados coerentes e mercados caóticos. O primeiro caracteriza-se por permanecer em um estado indefinido, sem que haja grandes movimentos e mudanças, e o desvio-padrão cresce na proporção da raiz quadrada do tempo. O segundo apresenta flutuações críticas além de possuir uma influência maior do “barulho randômico” do que apresenta o mercado aleatório: é um mercado ineficiente. Os mercados coerentes são os mais interessantes para os investidores, pois tanto os parâmetros psicológicos como os fundamentais proporcionam uma situação em que o retorno dos investimentos é muito maior do que os riscos corridos. Os maiores ganhos de longo prazo são atribuídos aos mercados coerentes, onde existe uma alta perspectiva de multiplicação do capital. Os mercados coerentes podem ser de dois tipos: os “bull markets” e os “bear markets”, onde o primeiro se caracteriza por apresentar preços que tendem a se mover para cima; porém apresentam algumas quedas significativas; já o segundo apresenta uma tendência à queda dos preços, mas essa queda é interrompida esporadicamente por grandes saltos. Os mercados caóticos são os mais perigosos e ocorrem quando existe um comportamento psicológico forte. Mas, os “fundamentais” são fracos. Ocorrem, então, períodos em que o preço parece tender a persistir numa base, quando, de repente, sofrem variações abruptas não previsíveis e não-lineares.

Quando o mercado de capitais apresenta uma estrutura dinâmica não-linear ele deve apresentar as seguintes características: possui mais de um ponto crítico, sendo imprevisível; uma autocorrelação e tendência a longo prazo; “uma série temporal de retornos que, dados pequenos incrementos de tempo, continue a ter características estatísticas similares (auto-similaridade); previsões menos confiáveis quanto mais longo for o prazo de análise. (sensibilidade às condições iniciais).” (Fernandes & Gleiser, 1994, pág. 241).

### 3.4 COMENTÁRIOS FINAIS

Com a globalização maior do sistema financeiro vários modelos econômicos e matemáticos passaram a se tornar essenciais para a utilização e aplicação de recursos nos

mais diversos mercados financeiros ao redor do mundo. Um dos enfoques que vêm ganhando mais força ultimamente é a abordagem do caos, a qual estabelece a existência de mercados com comportamentos não-lineares e não-aleatórios, onde a relação risco-retorno de capital é muito grande. Além disso, a abordagem do caos vem sendo utilizado no estudo do comportamento dos mercados através do instrumental uso dos fractais.

A utilização da abordagem do caos não significou, ainda, o total controle, ou exata precisão, dos comportamentos das variáveis de mercado no futuro, e nem gerou nenhum "super-aplicador" que nunca tivesse perdido dinheiro com a especulação. Porém, vem conseguindo resultados significativos na área de especulação internacional e pode, ainda, gerar várias contribuições para a melhor aplicação dos recursos, podendo, então, se enquadrar, de vez, com o processo de globalização do sistema financeiro (sendo essa a tendência atual).

A grande questão é que o uso indiscriminado da abordagem do caos, no estudo do comportamento de inúmeras variáveis econômicas, vem contribuindo para uma certa banalização dos princípios do caos junto à comunidade acadêmica e financeira. A não comprovação de comportamento caótico em alguns estudos sobre agregados macroeconômicos e variáveis microeconômicas acaba por levar algumas pessoas a, equivocadamente, comparar o estudo do caos com a teoria da catástrofe, que só explicava alguns fenômenos singulares e não podia ser aplicado a todos os fenômenos.

O caos é, antes de tudo, uma forma de encarar o comportamento dos fenômenos da natureza e, porque não?, da economia. O estudo do caos já comprovou que os fenômenos econômicos e naturais apresentam uma característica em comum: a não-linearidade. Encarar os fenômenos econômicos como não-lineares e não justificar a imprevisibilidade de seu comportamento através da aleatoriedade, do acaso, é uma das maiores contribuições do caos à Economia. Ao entendermos a imprevisibilidade como decorrente da própria dinâmica da Economia e não como simples resultado de forças aleatórias e exógenas ao sistema, estaremos aptos a entender melhor o funcionamento e a dinâmica do sistema econômico.

O grande erro está em utilizar os princípios do caos para a previsão do comportamento futuro das variáveis econômicas e, em específico, o comportamento futuro dos ativos financeiros. A abordagem do caos tem grande utilidade na explicação das descontinuidades e flutuações erráticas, observadas na economia e no mercado. Mesmo sendo útil no estudo de estruturas de mercado e indicando as regiões gráficas em que pontos futuros podem se localizar, a noção do caos não pode ser usada para fazer previsões exatas sobre o futuro, uma vez que ela mesma parte da idéia de que a imprevisibilidade é característica intrínseca da não-linearidade do sistema. E é, justamente, o uso do caos como instrumento de previsão, por vários analistas financeiros, que acaba por prejudicar e distorcer a importância da aplicação do caos à Economia e, principalmente, no mercado financeiro.

## 4 ESTUDO DE CASO - O SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL DE SALVADOR

O presente capítulo tem como objetivo ilustrar a aplicação da abordagem do caos na Economia, através de um estudo de caso, feito no segundo semestre de 1996, sobre a incerteza e os modos de financiamento da construção civil de Salvador, especificamente no segmento de incorporação imobiliária.

O objetivo desse estudo de caso é demonstrar que alguns aspectos da incerteza do financiamento da construção civil de Salvador podem ser interpretados através das noções do caos. Assim, o caos é apenas utilizado como instrumento de análise da incerteza do setor, apresentando um novo espectro e uma forma diferente de interpretação da realidade. Porém, não se pretende mensurar e utilizar métodos quantitativos de análise para se determinar se objeto de estudo apresenta ou não comportamento caótico. Então, a pesquisa tentará mostrar, através de uma análise qualitativa, como os fundamentos do caos se adequam à realidade do financiamento da construção civil de Salvador.

O capítulo, em questão, tratará, inicialmente, de algumas características gerais do setor de construção civil; depois tratará do estudo de caso realizado junto a empresários e lideranças de um segmento do setor em Salvador; e, finalmente, apresentará uma conclusão a respeito da viabilidade da aplicação de alguns princípios do caos na questão da incerteza do financiamento da construção civil de Salvador.

### 4.1 ALGUNS ASPECTOS GERAIS DO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor de construção civil (na Bahia) caracteriza-se por possuir um grande número de empresas que operam com tecnologias bastante diferentes umas das outras. Existem empresas que operam com tecnologia avançada e outras que operam com tecnologia mais primitiva e artesanal, independentemente do seu tamanho físico. Assim, é a

própria capacidade tecnológica da empresa que qualifica o seu tamanho, apesar de que as empresas não são consideradas tecnologicamente avançadas por serem grandes; e sim por serem avançadas a nível tecnológico. Além disso, a capacidade tecnológica da empresa determinará a sua forma de financiamento adotada. É justamente a relação entre o grau de tecnologia e o modo de financiamento adotado pela empresa que vai determinar o seu tamanho e a forma de gerência dos riscos da empresa de construção civil (na Bahia).

Quanto às atividades desenvolvidas pela empresa, duas merecem maior destaque : a atividade de construção habitacional (edificações, conjuntos residenciais, flats,etc) e a atividade de construção de obras públicas. Apesar de poderem desempenhar essas duas atividades, as empresas de construção civil tendem a se especializar em apenas uma destas.

Nota-se que as empresas da construção civil apresentam-se divididas em três blocos, quanto à utilização de tecnologias na construção. Existe o bloco de empresas que operam com materiais artesanais e são, geralmente, empresas de pequeno porte, que apresentam baixo capital de giro e ficam à mercê dos rápidos movimentos do mercado. O segundo bloco é composto por empresas, geralmente médias, que operam com processos e materiais semi-industrializados e apresentam uma certa importância na dinâmica do ramo. E o terceiro bloco é constituído de empresas que operam com processos e materiais industrializados e que são, geralmente, de grande porte. Vale ressaltar que a grande maioria das empresas está incluída no primeiro e no segundo blocos, sendo o terceiro composto por uma minoria de empresas.

A utilização de tecnologias diferenciadas vai implicar em diferenças na composição de custos das empresas, e na própria administração da compra de materiais. Assim, uma empresa que opera com materiais semi-industrializados apresentará uma planilha de custos completamente diferente das empresas que operam com materiais e processos industrializados. Além disso, o próprio processo de compra e reposição de materiais variará conforme o seu nível tecnológico.



Além de implicarem nas diferenças de administração e composição dos custos das empresas, as diferenças tecnológicas irão determinar, principalmente, diferenças nos modos de financiamento das empresas de construção civil. As empresas mais industrializadas irão tratar com modos de financiamento completamente diversos das empresas de tecnologia artesanal, por exemplo.

As empresas que operam com tecnologia industrializada, que são minoria, tratam melhor com a previsibilidade de suas construções. A maior automação e o menor desperdício de materiais permitem à empresa uma certa confiabilidade na previsão de conclusão da construção.

Paralelo a isso, essas empresas têm acesso aos mecanismos de financiamento modernos, que lhes permitem mudar, completamente, o perfil de seu endividamento em relação aos outros blocos de empresa. Assim, irão recorrer, entre outras coisas, às operações de mercado aberto, a commercial papers e à emissão de debêntures, em detrimento a empréstimos e linhas de crédito bancária.

Nota-se, portanto, que a estruturação e o referencial tecnológico da empresa são fatores determinantes na diferenciação da forma de financiamento da construção e de sua previsibilidade.

Existem diversos modos de financiamento executados pelas empresas do setor de construção civil; porém deve-se destacar dois grandes blocos de financiamento: o tradicional, onde estão incluídos o financiamento, via gastos orçamentários, licitações, etc; o financiamento via usuário, onde o empresário transfere parte do risco do empreendimento para o consumidor, que acaba sendo o principal responsável pela efetivação da obra; e o financiamento tradicional, propriamente dito que está relacionado a empréstimos e linhas de crédito de instituições que fomentam o mercado imobiliário, como a Caixa Econômica Federal, por exemplo. O segundo bloco é o bloco "moderno" e está relacionado com a captação financeira, através de novas operações financeiras como a emissão de debêntures, títulos e bônus no mercado aberto, além da

busca de financiamento em mercados instáveis, como o mercado de ações e, principalmente, o mercado de futuros.

É nesse último tipo de bloco de financiamento que existe o domínio da incerteza, onde se está sujeito a maiores riscos, tendo em vista uma maior expectativa de retorno.

Acredita-se que as empresas melhor estruturadas e industrializadas acabam por optar pela forma de financiamento mais rentável, que exige uma maior capacidade de administração financeira. Além do mais, elas requerem um melhor planejamento a ponto de estabelecer previsões do comportamento futuro das variáveis financeiras e do mercado, podendo amenizar a incerteza característica desse modo "moderno" de financiamento da construção civil.

Além disso, a incerteza do setor de construção civil está relacionada com o longo tempo de maturação e da natureza do investimento, os quais acabam por gerar um risco adicional para o setor. Se o compararmos com o setor de panificação, por exemplo, verificamos que este incorre a um risco bem menor, pois tem capacidade de adaptação rápida em relação às variações da demanda devido a uma maior flexibilidade na aplicação do capital que permite um ajustamento praticamente automático à situação do mercado (o mesmo não ocorre no setor da construção civil).

Na realização dos empreendimentos imobiliários podem ser destacados três tipos de agentes, e as respectivas áreas em que se desenvolvem suas atividades: agentes promotores, agentes financeiros e os agentes instrumentais:

Os agentes promotores são os que mobilizam e coordenam a combinação dos fatores de produção, necessários à construção e comercialização do imóvel e, geralmente realizam as seguintes funções: análise do mercado, escolha e negociação da compra do terreno, concepção e estruturação do empreendimento (aspectos técnicos, financeiros, legais, fiscais, etc), obtenção do financiamento para o consumidor final e para a construção, contratação dos construtores, fiscalização da execução dos serviços, e promoção e venda

das unidades habitacionais. Os principais agentes promotores privados são as incorporadoras imobiliárias.

Os agentes financeiros são, principalmente, a Caixa Econômica Federal, as sociedades de crédito imobiliário e os bancos privados. São eles que proporcionam o suporte financeiro às operações de incorporação, construção e compra ou venda de imóveis, originado de recursos próprios ou de terceiros. As duas principais funções desempenhadas por eles são: o financiamento do empreendimento na fase da construção e o financiamento da venda das unidades. Onde no primeiro, o financiamento é de curto e médio prazo e as taxas de juros são mais elevadas, enquanto que no segundo o financiamento é de longo prazo e as taxas de juros menores.

Os agentes instrumentais são os que proporcionam aos agentes promotores os meios necessários para a produção das unidades. Entre eles os principais são : os prestadores de serviços técnicos (serviços de engenharia, arquitetura, planejamento, etc) ; as construtoras, responsáveis pela execução técnica da obra e pela coordenação das subempreitadas; e os publicitários e corretores, responsáveis pela promoção e venda dos empreendimentos imobiliários.

A dinâmica do empreendimento imobiliário pode ser decomposta em duas fases: o processo de incorporação imobiliária e o mecanismo de financiamento da incorporação e venda dos imóveis. Na primeira é feita a análise da viabilidade técnica (arquitetura e documentação do terreno) e da viabilidade financeira, além da programação do empreendimento, observando as atividades comerciais (cronograma de receitas e despesas) e as atividades técnicas previstas. Na segunda fase, o empresário procura, inicialmente, obter a garantia de financiamento e efetivação das vendas, para poder pleitear na entidade competente o financiamento, de curto e médio prazo, de parte dos recursos necessários à conclusão do empreendimento. Esses recursos têm como principais fontes: a própria empresa, a renda proveniente das parcelas iniciais das vendas, e as entidades de crédito e financiamento.

## 4.2 O ESTUDO DE CASO

### 4.2.1. Metodologia

Um estudo de caso sobre o financiamento do setor de construção civil de Salvador torna-se relevante, na medida em que este representa um papel significativo na economia, sendo um dos principais empregadores e responsáveis pela dinâmica da economia baiana, gerando um grande efeito multiplicador sobre os diferentes segmentos da economia.

Além de seu papel significativo na Economia Regional, o setor de construção civil é caracterizado por oscilações e instabilidades que o leva a lidar, freqüentemente, com a incerteza, tanto do mercado imobiliário como, também, no mercado financeiro.

Entrevistas com empresários do setor de construção civil e com representantes da FIEB e da Associação Comercial da Bahia evidenciaram a existência da instabilidade nas decisões de produção neste setor (complexo). Ficou também evidenciada a transferência de risco existente entre os três principais segmentos do setor: incorporadoras, construtoras e fornecedores. Além disso, uma consulta ao doutor Álvaro Lemos, presidente da Associação Comercial da Bahia e diretor de uma incorporadora, retratou a irregularidade e a instabilidade das empresas deste setor, na medida em que apenas uma das empresas fundadoras do sindicato de construção civil continua operando, até hoje.

Verificou-se, também, a escassez de estudos e trabalhos publicados sobre o complexo da construção civil; fato de difícil compreensão, uma vez que se trata de um setor bastante relevante na economia nacional. Vale ressaltar que consultas ao doutor Elder Ribeiro (do Departamento de Economia da FIEB) evidenciaram a existência de uma "nuvem cinzenta", nas previsões do financiamento da produção no complexo da construção civil de Salvador, ilustrando a incerteza existente neste setor da economia.

Uma vez estabelecido o setor de construção civil como objeto de estudo necessita-se estabelecer que segmento do setor deveria ser analisado. Assim, determinou-se o segmento de incorporação imobiliária como o mais apropriado para a análise; pois é este

segmento, responsável pela promoção do empreendimento imobiliário, que lida mais diretamente com a incerteza do financiamento da construção civil de Salvador.

Selecionada a amostra a ser analisada, estabeleceu-se o que o estudo deveria ser feito considerando-se o segmento de incorporação imobiliária como um todo e não os casos individuais. Assim, determinou-se que a pesquisa deveria ser feita junto às lideranças empresariais, representadas pelo SINDUSCON (sindicato da construção civil da Bahia), as quais seriam as mais aptas a fornecer uma visão panorâmica da forma como as incorporadoras administram as incertezas desde seu financiamento.

Depois de alguns contatos com algumas lideranças empresariais, como Artur Sampaio (sócio de uma incorporadora) e Lincoln Bittencourt (ex-presidente do SINDUSCON), estabeleceu-se que o melhor nome para responder a uma pesquisa sobre o financiamento da construção civil de Salvador seria o de Carlos Marden (Santa Clara Engenharia Ltda), o qual é um profundo conhecedor do assunto, em questão.

Para a melhor monitoração e controle da coleta de dados, estabeleceu-se o uso de um roteiro de questões, que deveriam ser abordadas com os entrevistados. Os principais pontos abordados com os empresários foram os seguintes:

- 1) Tipos de atividades desenvolvidas pela empresa;
- 2) os modos de financiamento utilizados pela empresa;
- 3) as formas de financiamento mais predominantes;
- 4) as formas da empresa lidar com o componente da incerteza;
- 5) principais causadores de instabilidade e da incerteza no financiamento da construção civil de Salvador (se a incerteza é inerente à própria dinâmica setor e está relacionada a fatores exógenos);
- 6) o grau de previsibilidade do comportamento futuro do financiamento;
- 7) perspectivas de novos métodos para o empresário driblar ou amenizar a incerteza do financiamento da construção civil.

A pesquisa teve como hipótese a viabilidade da utilização das noções do caos na explicação da incerteza do financiamento da construção civil de Salvador, e como

metodologia a coleta de dados primários mediante entrevistas com lideranças e empresários do segmento de incorporação imobiliária e a sua análise feita através de uma abordagem qualitativa.

#### 4.2.2 A coleta de dados

A coleta de dados, mediante entrevistas com lideranças empresariais do setor, pode ser relatado pelo texto abaixo.

A Caixa Econômica Federal era, até o começo da década de noventa, o principal fomentador e agente de financiamento da construção civil da Bahia, chegando a financiar 60% dos custos totais do empreendimento (80% do custo da obra).

Porém, a crise econômica, evidenciada desde a década de oitenta, e o aumento considerável da inadimplência provocaram crises no sistema de financiamento imobiliário. Além disso, o financiamento dado a populações de baixa renda via empréstimos às prefeituras, implicou numa falta de agilidade no repasse dos recursos para as empresas de construção civil; pois, além da burocracia e da corrupção, os repasses não eram feitos de forma integral pela prefeitura, que acabava desviando parte desses recursos para outros fins.

Sendo assim, no início dos anos noventa, a Caixa Econômica Federal parou de fornecer financiamento aos empreendedores imobiliários, que passaram, então, a recorrer ao financiamento via bancos privados (Bradesco, Itau, etc). Porém, esses bancos privados pararam as incorporadoras baianas; pois o desenvolvimento da justiça baiana de defesa do consumidor acabou por dar ganho de causa às reivindicações e indenizações dos mutuários, o que gerou um risco de inadimplência das incorporadoras baianas.

Assim, a principal forma de financiamento utilizado pelas incorporadoras de Salvador, desde 1994, é o autofinanciamento, já que os empresários baianos ainda não recorrem às novas formas de financiamento ( via debêntures, títulos, etc).

O autofinanciamento caracteriza-se por apresentar uma estrutura parecida com um consórcio. O mutuário paga o seu imóvel em prestações fixas (ou variáveis) e recebe seu imóvel antes de quitar sua dívida. Um exemplo é o plano de cem parcelas em que o mutuário paga quatro parcelas na entrada, quatro ao longo do período de financiamento de forma variada e as outras oitenta parcelas deverão ser pagas, mensalmente, ao longo de sete anos. Uma construção que demore dois anos, por exemplo, para ser concluída será financiada em sete anos pelo mutuário, que já será proprietário do imóvel antes de pagar todas as parcelas devidas.

São, justamente, os pagamentos das parcelas que financiarão a construção imobiliária. Ou seja, a construção do imóvel depende do pagamento, em dia, das parcelas. Assim, as incorporadoras alocarão os melhores imóveis (virados para o nascente, apartamentos mais altos, etc) para os melhores pagadores, a fim de estimular os mutuários a pagarem suas cotas em dia.

O grande problema é que essa forma de financiamento acaba por trazer à tona a incerteza quanto à conclusão da obra e quanto aos retornos -resultados- esperados pelos incorporadores. O comportamento dos indivíduos é subjetivo e imprevisível, além de ser descontínuo e desforme na medida em que alguns são inadimplentes e outros não, em diferentes períodos. Isto é, apesar de existirem os que sempre estão inadimplentes, a maioria das pessoas passa por períodos diferentes de inadimplência, onde em um mês um grupo de indivíduos não paga suas parcelas, mas no mês seguinte paga a sua parcela mensal, enquanto que outro grupo, que tinha pago a parcela anterior, não consegue quitar a parcela do mês seguinte.

Quando perguntado que forma de financiamento predominar no futuro, e como se deve driblar a incerteza do financiamento, o engenheiro Carlos Marden discutiu a idéia de que o autofinanciamento deve continuar a ser utilizado, com maior veemência. Porém Marden acredita que as empresas baianas de grande porte deverão recorrer às novas formas de financiamento como, por exemplo, a emissão de debêntures. Quanto à incerteza do financiamento, Marden defende a implantação de um consórcio nacional de imóveis, financiado por um fundo de capitalização para a construção habitacional, o qual

seria administrado pela CEF. Tal fundo amorteceria as incertezas decorrentes da inadimplência, e geraria uma poupança prévia para lastrear as operações de aquisição de imóveis, imediatamente. Este funcionaria como um fundo de investimentos menos sofisticado, pois só agregaria a valorização do produto, funcionando como fundo de commodities; e contaria com parte dos recursos de empresas e pessoas físicas destinados ao pagamento do imposto de renda.

#### 4.2.3 Análise dos dados

A coleta dos dados evidencia que a dinâmica da incorporação imobiliária de Salvador é determinada pelas possibilidades de financiamento da construção civil da Cidade.

Ao considerarmos os dados fornecidos pela SEI, sobre as flutuações do emprego por atividade econômica, notaremos que, com a exceção de 1990 e 1993 - representaram acréscimo de 6021 e 782 empregos respectivamente - os demais anos da década de 1990 caracterizaram-se pela redução do número de empregados no setor. Esses números ilustram, tanto a crise geral da economia como, também, a crise do financiamento da construção civil, a qual vem se alastrando desde o começo da década de noventa com a suspensão das linhas de crédito, pela CEF, aos incorporados imobiliários.

A coleta de dados evidenciou, também, que a incerteza do financiamento da construção civil é agravada pelas políticas governamentais e pela própria dinâmica de crescimento da economia regional e nacional. Porém, a incerteza está inerente à própria dinâmica do setor, uma vez que a longa maturação e o grande montante de investimento faz com que os resultados não possam ser previstos com exatidão. Ou seja, mesmo influenciada por fatores exógenos, a incerteza é característica da própria dinâmica interna do setor.

Essa idéia de que a instabilidade do setor é determinada por fatores inerentes ao próprio sistema, e não por fatores exógenos, está ligada a um dos princípios do caos que estabelece que as discontinuidades e irregularidades dos sistemas - físicos, sociais, econômicos, etc - são determinadas pela própria dinâmica do sistema. Esta é, justamente, a principal diferença entre a noção de caos e de acaso, que estabelece que as



descontinuidades e instabilidades verificadas no sistema estão ligadas a fatores externos aleatórios, passíveis de normalização e de demonstração estatística.

No caso da construção civil verifica-se que a instabilidade e a incerteza de seu financiamento estão vinculados à sua dinâmica interior (caos), mas podem ser, ainda, agravados por fatores externos como: políticas governamentais e fatores internacionais que venham a atingir a conjuntura econômica nacional.

Outro ponto levantado na coleta dos dados é a imprevisibilidade do comportamento futuro do mercado de financiamento da construção civil de Salvador. Essa imprevisibilidade é decorrente da incerteza e instabilidade intrínseca do setor, e também está ligada à noção de imprevisibilidade inerente ao sistema, correspondente à abordagem do caos.

O ponto mais relevante da coleta de dados, que estabelece a aplicação de princípios do caos na construção civil é o comportamento descontínuo dos mutuários. Este é o principal motivo da incerteza do autofinanciamento da construção civil de Salvador, e está relacionado ao risco de inadimplência entre os mutuários.

A descontinuidade e imprevisibilidade do pagamento das prestações dos mutuários estão ligadas à noção de não-linearidade proposta pela abordagem do caos, a qual estabelece que os fenômenos se comportam de maneira não-linear e, por isso, imprevisíveis e parecendo ser aleatórios. Da mesma forma, é impossível se fazer a previsão exatas de quais mutuários irão honrar suas obrigações e quais não irão pagar sua parcela mensal.

O comportamento dos mutuários pode ser classificado, então, como não-linear e pode ser estudado dentro do conceito de não-linearidade determinado pelo caos, podendo constituir-se em objeto de estudo da abordagem do caos.

Nota-se, porém, a necessidade de um maior aprofundamento do estudo das não-linearidades observadas no processo de autofinanciamento da construção civil de

Salvador, para poder-se afirmar que a não-linearidade é ou não intrínseca a todo o sistema de financiamento da construção civil de Salvador.

Pode-se afirmar que a não-linearidade existe em, pelo menos, uma das formas de financiamento da construção civil de Salvador: o autofinanciamento. E esta está também ligada à idéia de incerteza do financiamento vinculada à própria dinâmica não-linear do sistema e à idéia de imprevisibilidade inerente ao funcionamento do setor.

Os dados coletados no estudo de caso não comprovam a existência de alguns princípios básicos do caos na economia. O efeito borboleta não pode ser evidenciado; posição que conseguiu determinar se os empresários do setor estudado fazem suas projeções a respeito dos resultados futuros, tomando algumas variáveis como parâmetros para análise e desprezando outras. Assim, não se pode estabelecer se as variáveis consideradas desprezíveis provocaram efeitos significativos sobre os resultados observados na realidade, gerando diferenças entre estes e suas previsões.

Além disso, o estudo de caso não evidenciou nenhuma forma fractal e nenhum atrator estranho na estrutura não-linear de financiamento da construção civil de Salvador. Pois não foram traçados como objetivo central do estudo de caso, na medida em que tais conceitos exigem alguns instrumentos gráficos e de quantificação, não utilizados pelo pesquisador.

Pode-se notar, então, que o estudo de caso evidenciou alguns aspectos característicos do caos - não-linearidade e imprevisibilidade - que podem ser utilizados como instrumento de análise do comportamento incerto do financiamento da construção civil. Porém, os dados coletados são insuficientes para se afirmar que o financiamento da construção civil de Salvador apresenta uma estrutura caótica; pois nenhum dos principais fundamentos do caos - efeito borboleta e fractais - foram satisfatoriamente identificados.

Apesar das evidências fracas de caos no financiamento da construção civil, destaca-se que é válido um maior aprofundamento do estudo da questão, através da adoção de outros métodos qualitativos e de métodos e instrumentos quantitativos, tornando-se

relevante a pesquisa do caos na construção civil de Salvador. Vale ressaltar que tais evidências fracas de caos já contribuem como ilustração de uma nova forma de se encarar e estudar os problemas dos fenômenos econômicos, atendendo ao objetivo do estudo de caso de exemplificar a forma como alguns dos princípios do caos podem servir de instrumento de análise dos fenômenos econômicos.

## 5 CONCLUSÃO

O modelo cartesiano-newtoniano estabeleceu-se como principal paradigma da ciência moderna, nos últimos quatro séculos, e começou a ser questionado nos últimos cento e cinquenta anos.

O método analítico cartesiano, baseado no reducionismo e na divisão do todo em suas partes componentes, como método de análise, tornou-se, ao lado da concepção determinista newtoniana, como o principal alicerce da ciência moderna contemporânea.

A partir do desenvolvimento de novos campos de estudo na ciência, passou-se a questionar o modelo científico cartesiano. Tal concepção foi abalada mais seriamente com o evolucionismo darwiniano -que determinou a mutabilidade da máquina cartesiana; pela termodinâmica - a qual apresentou as noções de entropia, irreversibilidade e o conceito de evolução ligado ao de desordem ; pela Teoria da Relatividade - que rompe com a Geometria Euclidiana ; e pela Física Quântica- que introduziu o conceito de incerteza na Física, além de se basear na noção do acaso.

Na verdade, o questionamento da idéia de universo como máquina em que seus elementos seguem leis fixas e imutáveis, não é uma novidade dos novos avanços da ciência. Heráclito de Éfeso (540 - 470 A.C.) já apresentava a idéia de movimento e de dialética, afirmando que seria impossível tomar banho mais de uma vez num mesmo rio, e estabelecendo que a unidade fundamental das coisas é caracterizada pela harmonia oculta das forças opostas. Para Heráclito, a justiça estava no conflito e não no apaziguamento. Assim, o questionamento da concepção imutável de mundo já era feita antes de Descartes e Newton. O que mudou foi a forma e a origem do questionamento, que surgiu do próprio desenvolvimento do cientismo (SOUZA, 1996).

A noção do caos está estreitamente vinculada ao processo histórico de desenvolvimento da ciência e, por isso, herdou vários fundamentos de outras ciências. A irreversibilidade enunciada pela termodinâmica influenciou bastante a idéia do caos, de que é impossível

se reverter exatamente o sistema às suas condições iniciais; pois mudanças nas condições iniciais implicariam em resultados diversos. Além disso, a termodinâmica apresentou um dos principais conceitos utilizados pelo estudo do caos: a desordem. O caos vai determinar que a desordem aparente dos fenômenos esteja inserida numa estrutura ordenada.

A Física Quântica influenciou bastante algumas concepções do caos. A idéia da incerteza como característica essencial da realidade dos fenômenos, e o próprio princípio da incerteza, que estabelece a impossibilidade de se conhecer com precisão a posição e a trajetória, simultaneamente, estão ligados à noção do caos de impossibilidade de se conhecer as condições iniciais do sistema.

Além disso, a noção quântica de interação e interconexão entre os objetos - onde pequenas diferenças de conexão podem provocar grandes disparidades no comportamento do sistema - adequa-se perfeitamente ao princípio do efeito borboleta do caos.

Embora pareça um apêndice da Física Quântica, a abordagem do caos apresenta uma diferença crucial em relação àquela ciência. O caos trata da incerteza como fruto da não-linearidade inerente à própria dinâmica do sistema; enquanto que a Física Quântica trata da incerteza como algo referente ao acaso e à aleatoriedade do comportamento dos fenômenos. Essa diferença entre não-linearidade e aleatoriedade é fundamental para se entender as diferenças entre a abordagem do caos e a abordagem quântica.

A Teoria da Relatividade desempenhou grande influência na formulação do conceito de atrator estranho enunciado pelo caos. Pois representou a ruptura com a Geometria Euclidiana - ao considerar o espaço-tempo como curvo e a viabilidade de encontro das retas paralelas. Esse rompimento com a geometria euclidiana tradicional permitiu outras áreas da ciência a desenvolverem outros tipos de geometria alternativa à euclidiana. Assim, pode-se estabelecer a existência de uma dimensão fracionada - fato inconcebível à geometria euclidiana - dos atratores estranhos estudados pelo caos, além de uma dimensão fractal no estudo das irregularidades do sistema.

Muitas noções do caos podem ser comparados a aspectos cartesianos e newtonianos representando, em parte, um questionamento a esses aspectos, mas também apresentam-se, em parte, vinculados a determinados fundamentos da ciência tradicional moderna.

O conceito de auto-semelhança, estabelecido pelo estudo dos fractais, permite-se compreender a estrutura geral do sistema, a partir da observação da estrutura de uma de suas partes componentes. Essa idéia pode ser comparada com a noção cartesiana de que o todo pode ser compreendido com uma análise de suas partes separadas. Porém a análise fractal estabelece que a auto-semelhança da parte em relação ao todo não significa que aquela seja menos complexa que este. A parte apresenta uma complexidade e uma não-linearidade tão evidente como o todo. Assim, a decomposição do todo em partes não significa, para a abordagem do caos, uma simplificação analítica, pois a complexidade do todo está presente em todas as suas partes. O reducionismo cartesiano, como método analítico, não se aplica à análise da estrutura fractal, mas se adequa à idéia de compreensão do todo, via observação de suas partes componentes.

A idéia do caos de universalidade, ligada aos estudos de Feigenbaum, está vinculada à idéia de universalidade proposta por Descartes, onde todos os fenômenos da natureza poderiam ser explicados e a ciência teria como base a certeza do conhecimento, sem gerar dúvidas. Essa idéia de universalidade cartesiana influenciou todas as áreas do conhecimento e, de fato, está intrínseca ao pensamento de grande parte dos cientistas. Cabe aqui se fazer uma pergunta: seria possível não se pretender desenvolver uma teoria que explique todos os fenômenos da natureza? Uma grande parcela dos cientistas de hoje responderiam negativamente a essa questão, em virtude do espírito universalista cartesiano, que ainda ronda a ciência.

Embora as noções de não-linearidade e de imprevisibilidade do caos estabeleçam um questionamento ao conceito mecanicista newtoniano, estes não rompem com o determinismo newtoniano; pois a idéia de determinismo está ligada ao fato do comportamento presente e futuro dos fenômenos serem determinados pelas suas condições iniciais. No caso do caos, existe uma dependência hipersensível das condições

iniciais, onde a mínima diferença entre essas provocam comportamentos futuros completamente diversos.

Vale ressaltar que a noção do caos de desordem ordenada implica na ruptura da divisão cartesiana de ordem e de desordem. Ou seja, a divisão absoluta de ordem e desordem perde sentido quando analisamos, através do caos, que a ordem e a desordem não são antagônicas e nem podem ser separados uma da outra pois seus limites não são definidos. A própria natureza dos sistemas caracteriza-se por possuir desordem numa estrutura ordenada, perfeitamente articulada e não contraditória.

A aplicação do caos na Economia vem sendo cada vez mais utilizada e conseguindo êxitos consideráveis, quando utilizados como instrumento de análise e explicação dos fenômenos econômicos.

A aplicação do caos na Economia contribui no estudo da incerteza e das flutuações irregulares ocorridas nessa ciência. Porém, diversas correntes econômicas preferem optar pela idéia de que, embora a incerteza exista, os sistemas econômicos tendem, no seu limite, à ordem e ao equilíbrio; o que implicou na criação de modelos e sistemas completamente diversos da dinâmica econômica, observada na realidade. A noção do caos vem contribuir com a idéia de que a incerteza é inerente ao sistema econômico, e está montado numa estrutura de aparência desordenada que têm como base uma estrutura ordenada.

Os princípios do caos concordam com a idéia keynesiana de que a incerteza é inerente ao sistema capitalista e que, por isso, torna-se impossível de se fazer previsões exatas em relação a seu comportamento futuro.

A incansável busca de modelos e sistemas de controle de risco, dos grandes aplicadores financeiros e dos consultores internacionais, tem como objetivo reduzir, ou amenizar, a incerteza na economia, mas não consegue obter êxito total, pois a incerteza é própria da dinâmica do modo de produção capitalista.

No caso do México, por exemplo, a utilização dos mais variados programas e sistemas de controle de risco não conseguiu prever nem a dimensão, nem o momento do "efeito tequila". Os analistas internacionais destacavam o México como exemplo de estabilização e de confiança a ser seguido pelos países, em desenvolvimento, até que entrou numa grande crise cambial e monetária.

*Observação*

Os modelos econométricos estabelecem algumas variáveis como significativas e outras como desprezíveis, e montam seus cenários baseando-se no comportamento futuro das variáveis significativas. A ótica do caos diz que isto é um erro, pois algumas das variáveis desprezadas pelos modelos econométricos podem apresentar características não-lineares e provocar grandes efeitos no comportamento futuro do sistema analisado. O "efeito tequila" é um bom exemplo de como algumas variáveis desprezadas pelos modelos econométricos e matemáticos podem provocar resultados não previstos pelos modelos adotados.

Pode-se notar que a crescente utilização dos princípios do caos na Economia e, principalmente, no mercado financeiro, vem sendo feita, em alguns casos, de maneira distorcida banalizando a abordagem do caos junto a acadêmicos e operadores financeiros. A aplicação do caos na Economia deve ser feita com o objetivo de explicar o comportamento dos fenômenos econômicos, utilizando-se tanto de instrumentos quantificadores do caos como, também da análise qualitativa dos fenômenos.

O grande problema é que os princípios do caos vêm utilizados, algumas vezes, como instrumento de previsão do comportamento futuro das variáveis econômicas e não explicação destes. A utilização do caos na previsão vai de encontro com os próprios fundamentos de caos, que estabelecem a imprevisibilidade e não-linearidade como fatores intrínsecos ao sistema. O grande erro está na tentativa de alguns economistas e analistas financeiros em moldar os princípios do caos como instrumento de previsão dos fenômenos econômicos.

Um problema que a ciência econômica enfrenta é que vários pressupostos teóricos e instrumentais estão baseados em fundamentos de Física e da Matemática, que já foram



superados por outros fundamentos ligado à dinâmica dos sistemas. A Economia, então, não acompanhou o desenvolvimento das outras ciências e se fundamenta em princípios já ultrapassados. Algumas pessoas creditam este fato à grande influência que a Engenharia desempenha sobre a teoria econômica. Acredita-se que esse vínculo com a Engenharia acabou por estagnar a teoria econômica, a qual teria uma outra dinâmica caso estivesse vinculada diretamente à nova Física, desenvolvida nos últimos cento e cinquenta anos,

Vale salientar que não se está propondo moldar a Economia conforme os princípios da nova física e da nova matemática, mas utilizar dos novos instrumentos e novos conceitos de dinâmica e complexidade como auxiliares à análise econômica.

O estudo de caso apresentado, no quarto capítulo teve como principal objetivo, servir de exemplo prático da aplicação dos princípios do caos na explicação dos fenômenos econômicos.

A questão da incerteza do financiamento do setor de construção civil, em destaque as incorporadoras imobiliárias, pode ser interpretado e estudado através da utilização de alguns princípios da abordagem do caos: não-linearidade e imprevisibilidade, decorrentes da própria dinâmica de funcionamento do sistema.

Podê-se verificar que o estudo de caso foi exemplo válido como ilustração de alguns princípios do caos na Economia, porém foi insuficiente para se afirmar e identificar o financiamento da construção civil de Salvador como um sistema caótico, na medida em que alguns dos principais fundamentos do caos não puderam ser comprovados na pesquisa.

Sugere-se um maior aprofundamento do estudo da incerteza do financiamento da construção civil de Salvador, a fim de se comprovar ou negar a hipótese de existência de um comportamento caótico no setor estudado.

Concluído o trabalho monográfico, pode-se observar que este procurou cumprir o seu objetivo central de confirmar a hipótese de viabilidade de aplicação dos princípios do

caos na Economia. Acredita-se que a monografia procurou fornecer uma visão geral da abordagem do caos e da possibilidade de aplicação deste na Economia, e constitui-se um importante instrumento de explicação dos fenômenos econômicos, além de apresentar um novo espectro da análise da realidade.

Por fim, vale a pena declarar que o objeto de estudo do trabalho monográfico em questão pretende ser aprofundado pelo seu autor, posteriormente, em trabalhos desenvolvidos na área acadêmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. Teoria Econômica e Caos. RBE. Rio de Janeiro, v.48, p. 147-153, 1994.
- BERRY, Michael. Quantum physics on the edge of Chaos. In: HALL, Nina. Exploring Chaos. New York: W.W. Norton & Company, 1991.
- CAPRA, Fritjof. O Ponto de Mutação. 9ªed. São Paulo: Editora Cultrix, 1989.
- CARVALHO, FERNANDO J.C. Sobre Ordem, Incerteza e Caos em Economia. RBE. Rio de Janeiro, v. 48, p. 179-188, 1994.
- CASTI, John L. Complexification. New York: Harper Collins, 1994.
- COVENEY, Peter. Chaos entropy and the arrow of time. In: HALL, Nina. Exploring Chaos. New York: W.W. Norton & Company, 1991.
- DAVIES, Paul. Is the Universe a machine?. In: HALL, Nina. Exploring Chaos. New York: W.W. Norton & Company, 1991.
- DAY, Richard H. Complex Economic Dynamics. Cambridge: The MIT Press, 1994.
- DAY, Richard e SHAFER, Wayne. Keynesian Chaos. In: BENHABIB, Jess. Cycles and Chaos in Economic Equilibrium. Nova Jersey: Princeton University Press, 1992.
- DENECKERE, Raymond e JUDD, Kenneth. Cyclical and Chaotic Behavior in a Dynamic Equilibrium Model, with Implications for a Fiscal Policy. In: BENHABIB, Jess: Cycles and Chaos in Economic Equilibrium. Nova Jersey: Princeton University Press, 1992.
- FERNANDES, Marcelo & GLEISER, ILAN. A Questão da Dinâmica de Preços de Ativos Financeiros. RBE. Rio de Janeiro, 1994, v.48, p. 235-243.
- GELL - MANN, Murray. Simplicity and Randomness in the Quantum Universe. In: GELL - MANN, Murray. The Quark and the Jaguar. New York: Freeman, 1994.
- GLEICK, James. Caos- A Criação de uma Nova Ciência. 4ªed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1991.
- HOLDEN, A.V. Chaos. New Jersey: Princeton University Press, 1986.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DA GUANABARA. A Construção Civil no Brasil. Rio de Janeiro: 1971.
- KEYNES, John M. A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda. São Paulo: Atlas, 1992.

- KUHN, Thomas. A Estrutura das Revoluções Científicas. 3ªed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1992. (Debates 115).
- LEWIN, Roger. Complexidade. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.
- MANDELBROT, Benoit. Fractals - a geometry of nature. In: HALL, Nina. Exploring Chaos. New York: W.W. Norton & Company, 1991.
- McNEVIN, Bruce e NEFTÇI, Salih. Some Evidence on the Non-Linearity of Economic Time Series: 1890 - 1981. In: BENHABIB, Jess: Cycles and Chaos in Economic Equilibrium. Nova Jersey: Princeton University Press, 1992.
- MONOD, Jacques. O Acaso e a Necessidade. 3ªed. Petrópolis: Vozes, 1970.
- OLIVEIRA FILHO, João Damásio. Dinâmica Econômica e Caos: para uma Agenda de Pesquisas. RBE. Rio de Janeiro, v. 48, p.155-178, 1994.
- PETERS, Edgar. Fractal Market Analysis. Nova York: Jon Wiley & Sons, 1994.
- POPPER, Karl. A Lógica da Pesquisa Científica. 5ªed. São Paulo: Cultrix, 1993.
- PRIGOGINE, Ilya. Order out of Chaos. New York: Bantam Books, 1984.
- RIZZIERI, Juarez A.B. Análise do Comportamento Anti - Cíclico da Construção Residencial. São Paulo: IPE, 1984.
- RUELLE, David: Acaso e Caos. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1993.
- SAVIT, Robert. Chaos on the trading floor. In: HALL, Nina. Exploring Chaos. New York: W.W. Norton & Company, 1991.
- SOUZA, José C. Os Pré-Socráticos. São Paulo: Nova Cultural, 1996. (Coleção Os Pensadores).
- STEWART, Jan. Será que Deus Joga Dados?. Rio de Janeiro. Zahar, 1991.
- TOBEN, Bob & WOLF, Fred Alan. Espaço - Tempo e Além. Nova edição. São Paulo: Cultrix, 1982.
- VAGA, Tonis: Profiting from Chaos. Nova York: Mc Graw-Hill, 1994.