

# A TEORIA DO CAOS E AS ORGANIZAÇÕES

Wagner Peixoto de Paiva

Mestrando do Curso de Administração da Faculdade  
de Economia, Administração e Contabilidade da  
Universidade de São Paulo

## RESUMO

O objetivo deste ensaio é fazer uma introdução à Teoria do Caos, teoria que está particularmente interessada em explicar como as diversas categorias e seus componentes mudam ao longo do tempo, e em compreender os fenômenos turbulentos dos sistemas. Para tanto será utilizada a seguinte estrutura: na seção 1 há uma introdução ao tema; na seção 2 são apresentados alguns conceitos teóricos importantes; na seção 3 são mostrados alguns modelos matemáticos usados para detectar a presença do Caos e distingui-lo de um comportamento puramente aleatório; a seção 4 relaciona a teoria às organizações; e, finalmente, na seção 5 são feitas algumas considerações finais.

## 1. INTRODUÇÃO

O objeto de estudo da Teoria do Caos é o comportamento dos sistemas de *feedback* não-lineares, como, por exemplo, uma célula, um fenômeno meteorológico ou uma empresa. Um dos conceitos-chave desta teoria é a demonstração da impossibilidade de se fazer previsões que não sejam no curto prazo, pois o comportamento desses sistemas dinâmicos é extremamente sensível às suas condições iniciais tanto internas quanto externas.

Além disso, ela propõe que é possível reconhecer padrões qualitativos similares dentro da gama infinita de estados futuros. Desta forma, o estudo dos sistemas caóticos apresenta uma nova maneira de pensar e lidar com o futuro, especialmente no contexto das organizações. A teoria ainda oferece alguns modelos matemáticos para se discriminarem os processos randômicos dos processos caóticos (com um sistema não-linear subjacente), discriminação esta que as técnicas matemáticas lineares não conseguem fazer.

A maioria dos fenômenos que observamos na natureza e no comportamento humano tem, de um lado, características de ordem e estabilidade, e, de outro, de desordem e irregularidade – mudanças abruptas no clima, reações bioquímicas complexas, movimentos irregulares no preço das ações e nas taxas de câmbio.

Também no mundo dos negócios as empresas estão sujeitas a distúrbios externos e internos, imprevisíveis e incontroláveis, e operam sob condições de risco e incerteza, com informação incompleta e limitada. Ainda que inseridas neste ambiente turbulento, as organizações utilizam tradicionalmente, na tomada de decisão, modelos que assumem pressupostos de previsibilidade, racionalidade e controle (HAYWARD e PRESTON, 1999). Neste contexto, a consideração de teorias alternativas ao pensamento tradicional mecanicista e cartesiano é mais uma opção oferecida aos administradores para um melhor entendimento dos sistemas dinâmicos complexos como as organizações.

## 2. ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS DO CAOS

Segundo STACEY (1991): "(...) em sua definição científica, o Caos não significa desordem absoluta ou uma perda completa da forma. Ele significa que sistemas guiados por certos tipos de leis perfeitamente ordenadas são capazes de se comportar de uma maneira aleatória e, desta forma, completamente imprevisível no longo prazo, em um nível específico. Por outro lado este comportamento aleatório também apresenta um padrão ou ordem 'escondida' em um nível mais geral (...). O Caos é a variedade individual criativa dentro de um padrão geral de similaridade". Para entendermos melhor esta definição, vamos analisar alguns conceitos separadamente:

### · As Mudanças

O primeiro conceito a ser estudado é o da mudança. Este é um conceito importante porque, em todos os níveis das organizações, os indivíduos ou grupos de pessoas lidam diariamente com mudanças, e estas, por sua vez, impactam as decisões, comportamentos e resultados futuros destas

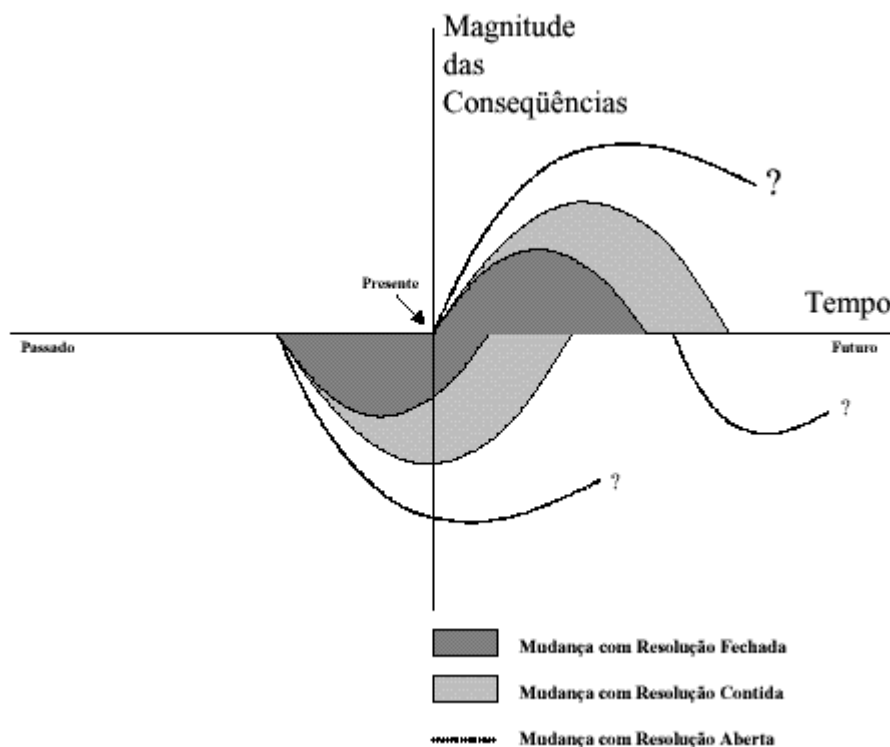
mesmas pessoas. Um outro fator que deve ser lembrado é que nos dias de hoje estas mudanças têm-se tornado cada vez mais rápidas, intensas e voláteis.

Para descrever a situação geral de uma mudança precisamos especificar:

- a) quando a mudança ocorre e quanto demora para os efeitos desta mudança serem sentidos;
- b) qual a magnitude das conseqüências da mudança;
- c) o grau de previsibilidade da mudança e suas conseqüências.

Para ilustrarmos de uma maneira gráfica as diversas situações gerais das mudanças, vamos plotar na Figura 1 essas diversas especificações. O eixo vertical mede a magnitude das conseqüências sem distinguir se estas são positivas ou negativas; no eixo horizontal temos a linha do tempo, passado-presente-futuro, sendo o presente a intersecção com o eixo vertical.

**Figura 1: Conseqüências de ações e eventos presentes (parte de cima da figura), passados e futuros (parte de baixo da figura) Fonte: STACEY, 1991: 29**



Fonte: STACEY, 1991: 29

Podemos reconhecer três padrões básicos de mudança:

**Mudança com Resolução Fechada:** as conseqüências de alguns eventos e ações presentes são inteiramente previsíveis por um período curto no futuro próximo, porque estamos simplesmente repetindo, quase que exatamente, o que fizemos freqüentemente no passado. Nós podemos saber o que está causando a mudança, o porquê disso e quais são suas conseqüências imediatas. Nas empresas isto significaria, por exemplo, um grande cliente atual fazer um pedido substancial de um produto existente, gerando o aumento da produção deste bem; todas as conseqüências do fluxo de caixa deste evento são previsíveis e com alto grau de precisão.

**Mudança com Resolução Contida:** as conseqüências de alguns eventos e ações presentes são previsíveis um pouco mais distante no futuro, com uma certa probabilidade, porque estamos repetindo o que fizemos no passado, mas não de maneira exatamente igual. Nós podemos saber o que provavelmente está causando a mudança, o porquê provável e quais as prováveis conseqüências. Nas empresas isto significaria saber, por exemplo, que no processo de produção da

próxima semana de um grande lote de um bem, uma certa porcentagem dos produtos será rejeitada pelo Controle de Qualidade: técnicas estatísticas razoavelmente precisas podem prever que serão, por exemplo, 2% dos televisores produzidos, mas não é possível saber de antemão especificamente qual será o televisor rejeitado.

**Mudança com Resolução Aberta:** as conseqüências de alguns dos eventos e ações presentes são únicas. Além de elas nunca terem ocorrido da mesma forma antes, não necessariamente precisam ser "catastróficas"; elas podem ser pequenas e aparentemente insignificantes. Nós não sabemos o que está causando a mudança, o porquê e quais as conseqüências. Nas empresas isto significaria, por exemplo, um departamento de pesquisa e desenvolvimento (P&D) que tem a intenção de desenvolver uma "supercola" cometer um erro e obter uma cola que tem um pequeno poder de aderência, para a qual ninguém vê aplicação imediata, mas que acaba se tornando, no futuro, um altamente rentável *post it*; ou então a descoberta de que o altamente rentável CFC na verdade prejudica a camada de ozônio e deve ser descontinuado.

Quanto mais longe se olha para o futuro, mais e mais as conseqüências são abertas. Não podemos esquecer também das ações que já ocorreram no passado e que podem afetar ou que já estão afetando o presente, e devemos nos mostrar atentos às ações que ainda poderão ocorrer no futuro.

#### · **A organização como um sistema dinâmico de *feedback* não-linear**

Em seu nível mais simples, uma empresa é um sistema que recebe uma entrada (matérias-primas, caixa, pedidos, etc.), a transforma e fornece uma saída (produto acabado, lucro, serviços, etc.), em constante interação com seu meio ambiente externo (STACEY, 1991). Este sistema dinâmico opera com um mecanismo de *feedback* pelo qual o resultado de um período realimenta o sistema no período subsequente.

Por exemplo, um influxo de caixa em um período (t-1) gera um lucro no período (t) que serve como caixa no período seguinte (t+1), e a relação entre o lucro de um período e o do próximo é definida de acordo com as regras de decisão deste sistema (por exemplo, gastar 10% dos lucros em propaganda) e do relacionamento deste sistema com seu ambiente externo (por exemplo, o nível de receptividade dos consumidores ao impacto da propaganda da empresa).

Entretanto, esta relação não é linear, pois sabemos intuitivamente que se gastarmos uma quantia infinita em propaganda não obteremos lucros infinitos; o princípio econômico fundamental dos rendimentos marginais decrescentes restringe o mecanismo de *feedback* da empresa (DOUGLAS, 1992). Como exemplo, este princípio nos diz que, se forem mantidos constantes todos os fatores de produção de uma fábrica, exceto um – por exemplo, o número de funcionários –, e se aumentarmos as quantidades deste fator variável em incrementos iguais sucessivos, o aumento na produção total da fábrica decorrente da aplicação de cada unidade adicional do fator variável – cada funcionário extra – será decrescente além de um determinado ponto.

Portanto, esta estrutura não-linear das organizações se forma porque existem restrições na operação do sistema e nas regras de decisão, sendo a restrição fundamental a escassez – capacidade limitada de produção, de espaço físico, de recursos financeiros, de tempo, de habilidades, de paciência, etc.

#### · **Como relações e regras simples podem levar a um comportamento caótico**

Segundo STACEY (1991), “uma equação matemática é simplesmente uma metáfora para algum pedaço da realidade, para algum aspecto do comportamento. Nós fazemos as abstrações da realidade que achamos que sejam fundamentais, achamos relações causais-chave entre uma coisa e outra e as expressamos em uma forma simbólica, matemática”.

Portanto, vamos expressar matematicamente o comportamento de uma empresa fazendo uso de algumas simplificações. Vamos supor que o nível de lucro (L) desta empresa num período (t) dependa exclusivamente do seu gasto (ou, como diriam em *marketing*, do investimento) com propaganda (P) nesse período.

Vamos supor também que exista uma relação linear entre lucro e propaganda, proporcional a algum parâmetro (a), que resulta em:

$$L(t) = a * P(t).$$

Vamos supor que a empresa decida gastar em propaganda neste período uma porcentagem fixa (b) de seus lucros do período anterior (t-1):

$$P(t) = b * L(t-1),$$

e substituindo P(t) na primeira expressão, obtemos:

$$L(t) = a * b * L(t-1).$$

Se definimos que  $a * b = c$ , então:

$L(t) = c * L(t-1)$ , que é uma equação de reta onde o resultado de um período alimenta o período seguinte formando uma alça de retroalimentação.

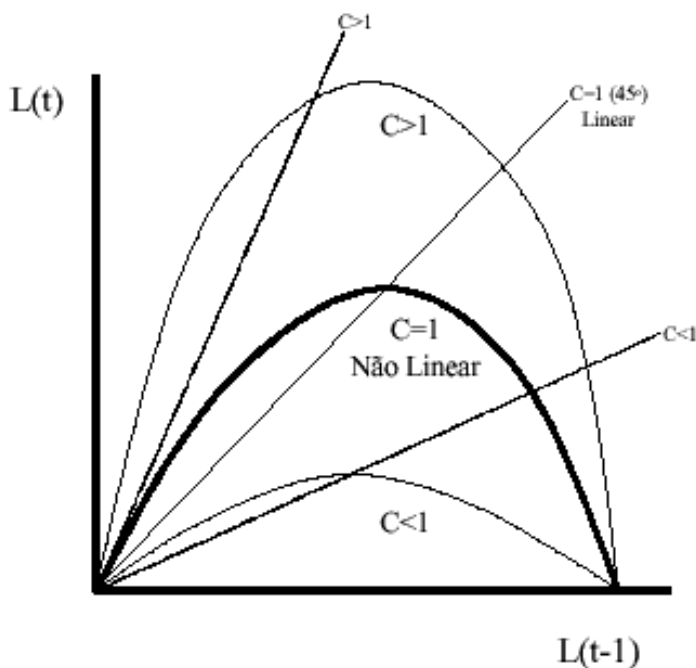
Para  $c = 1$  a reta tem uma inclinação de  $45^\circ$  e o lucro em um período é igual ao lucro no período anterior (lucro constante). Se  $c$  for menor que 1 ( $c < 1$ ), observamos que o lucro cai ao longo do tempo até chegar a zero, pois sempre o lucro em um período é menor que o do período anterior. Se  $c$  for maior que 1 ( $c > 1$ ), os lucros vão aumentar até o infinito com o passar do tempo.

Porém, como vimos, as organizações são sistemas não-lineares. Para introduzirmos a não-linearidade na equação usaremos como exemplo a equação logística (*logistic difference equation*):

$L(t) = c * L(t-1) * (1-L(t-1))$ , que é uma equação de 2º grau onde o valor de  $c$  altera a elevação da curva em relação ao eixo horizontal e onde o resultado de um período alimenta o período seguinte.

A diferença entre estes dois tipos de comportamento (linear e não-linear) pode ser observada na Figura 2. Além disso, podemos observar como a variação do parâmetro  $c$  altera a curva de expressão do lucro.

**Figura 2: Relação de *feedback* linear e não-linear entre o lucro em um período e o lucro no período anterior**



Agora vamos inserir esta equação logística em uma planilha do tipo Excel, de tal forma que a partir de valores iniciais que iremos inserir o resultado de um cálculo torna-se a entrada do próximo cálculo (vamos criar uma alça de retroalimentação simples), e iremos verificar o que acontece quando alteramos as variáveis  $C$  e  $L(t-1)$ .

Por uma questão didática, vamos fixar como condições iniciais um parâmetro  $c = 2$  e um investimento inicial  $L(t-1) = 0,9$ , porém o modelo pode ser testado com infinitas combinações de valores iniciais.

Verificamos que, após algumas iterações destes valores iniciais (neste caso apenas 7), o Lucro Final ( $L(t)$ ) atinge o valor 0,5, permanecendo para sempre neste valor, ou, no jargão da Teoria do Caos, dizemos que o comportamento deste sistema com um valor do parâmetro  $c$  igual a 2 tem um ponto atrator em 0,5.

Se o valor de  $c = 0$  (mantendo-se  $L(t-1) = 0,9$ ), o sistema permanece para sempre em 0 (ou atraído para 0).

Se variarmos o valor de  $c$  entre 0 e 3 (mantendo-se  $L(t-1) = 0,9$ ) observamos que o sistema tem pontos de atração estáveis para qualquer valor de  $c$  ( $0 < c < 3$ ), ainda que com valores finais ( $L(t)$ ) distintos. Dizemos que o sistema fica em equilíbrio, ou seja, num estado no qual não há tendência de se mover para longe de um determinado padrão de comportamento. Este estado pode ser estável ou instável, mas é sempre ordenado, no sentido de que o mesmo padrão de comportamento é sempre observável (de certa maneira repetitivo e previsível).

Quando  $c = 3$  o sistema fica marginalmente instável e converge para um valor final muito lentamente, porém agora a estabilidade toma a forma de ciclos regulares. Por exemplo, para o valor de  $c = 3,2$ , após 21 iterações temos um valor de lucro final de 0,799 em um período e de 0,513 no outro período, com estes 2 valores ciclando regularmente para sempre. Em outras palavras, com um parâmetro  $c$  de 3,2 o comportamento do sistema é atraído para um estado final que tem um ciclo estável de 2 períodos. Com um valor de  $c = 3,5$  o sistema fica instável novamente e um ciclo de 4 períodos aparece. Se o parâmetro sobe para  $c = 3,56$  o período dobra novamente e temos um ciclo de 8 períodos. Com  $c = 3,567$  os ciclos são de 16 períodos, e assim por diante.

Quando o valor de  $c$  atinge 3,58, porém, o comportamento do sistema torna-se randômico (ou aleatório). Não existem ciclos regulares e os valores de cada iteração variam constantemente, embora dentro de alguns limites, nunca atingindo um valor previamente alcançado, não importando quantas iterações sejam feitas. Isto é o Caos. Não há meios de prever o que irá acontecer com o Lucro Final ( $L(t)$ ) se o parâmetro for igual a 3,58, e isso não tem nada que ver com mudanças ambientais ou "catástrofes" (choques randômicos). Este estado caótico (de não-equilíbrio) para o qual o sistema é atraído é conhecido como atrator estranho.

Se o valor de  $c = 3,835$  um ciclo de 3 períodos repentinamente aparece (após 127 iterações).

Aumentando-se muito pouco os valores (na terceira ou quarta casa decimal) os ciclos dobram, e assim por diante. Rapidamente atinge-se o caos novamente.

Quando o valor de  $c$  é maior que 4 o sistema rapidamente tende ao infinito e fica instável e explosivo; apesar disso, é um estado de equilíbrio "previsível" e o estado final do sistema tem um atrator no infinito.

Resumindo o que descrevemos acima, temos uma relação de *feedback* não-linear com uma única regra de decisão muito simples produzindo um padrão extremamente complexo de resultados ao longo do tempo. Às vezes estes comportamentos são do tipo estável e ordenado (equilíbrio), cujos resultados podem ser um único ponto de equilíbrio (zero, um valor "x" qualquer ou o infinito) ou um padrão cíclico identificável (por exemplo ciclos de períodos 2, 4, 8, 16, etc.). Outras vezes encontramos padrões altamente complexos que nunca atingem um estado claramente definido (não-equilíbrio), chamados de estados caóticos.

#### · **Sensibilidade às condições iniciais**

Até agora consideramos esta regra simples de decisão como se ela estivesse isolada do resto do mundo. Porém, nos negócios e na economia nunca podemos estudar sistemas fechados, pois sempre existirão impactos externos como a meteorologia, doenças, eventos políticos, etc. Portanto, vamos

incluir na equação um termo de erro (e), também chamado de "ruído", que representa os distúrbios aleatórios ou choques randômicos que poderão alterar o resultado da regra:

$$L(t) = c * L(t-1) * (1-L(t-1)) + e(t),$$

ou podemos dizer que o próprio parâmetro está sujeito aos choques randômicos e podemos reescrever a regra como:

$$L(t) = (c + e(t)) * L(t-1) * (1-L(t-1)).$$

A presença deste ruído na regra faz o comportamento caótico ser muito mais comum do que imaginamos.

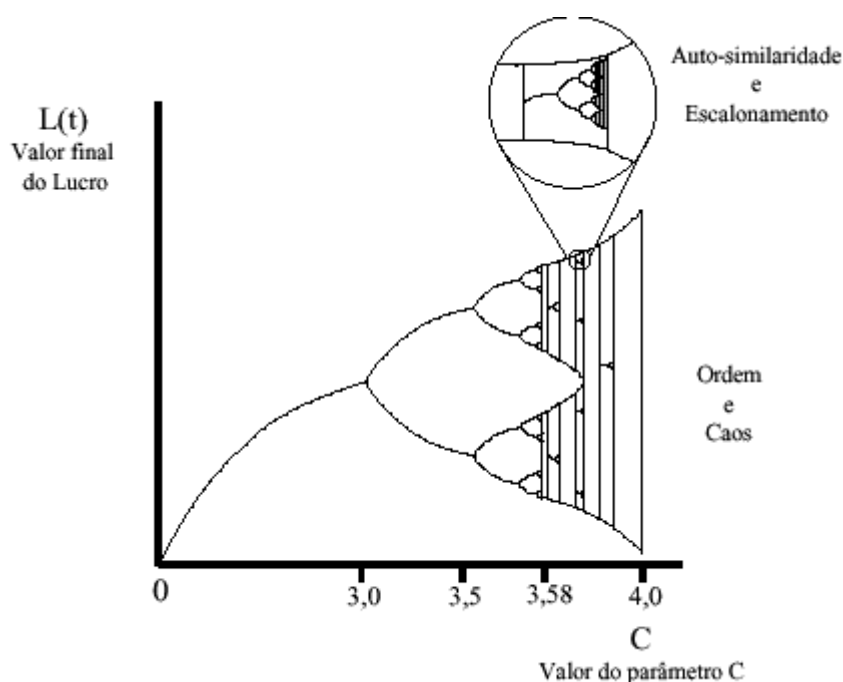
Com isso temos uma das propriedades fundamentais dos sistemas caóticos que é a sensibilidade às condições iniciais, consoante a qual os resultados da regra nas regiões próximas do caos dependem de mudanças ínfimas nos valores iniciais e nos parâmetros. Uma decorrência disso é que para se fazer uma boa previsão é necessário um grau de precisão infinita nas medidas e nos valores dos parâmetros (mudanças na décima ou até na milésima casa decimal podem levar a resultados completamente diferentes). No mundo dos negócios isto significa dizer que fazer uma previsão em qualquer espaço de tempo que não seja o curto prazo é totalmente impossível.

### · A geometria do Caos

A Teoria do Caos tem também uma abordagem geométrica que não será detalhadamente explorada aqui, mas que apresenta conclusões muito interessantes, difíceis de captar observando-se apenas fórmulas e resultados numéricos.

A Figura 3 mostra um gráfico onde plotamos os valores do parâmetro c e de seus correspondentes valores de L(t). Seguindo os passos matemáticos acima descritos temos um valor do lucro final  $L(t) = 0$  quando  $c = 0$ . Com  $0 < c < 3$ , o valor do lucro final é único e varia com o valor de c. Quando os valores de c estão entre 3 e 3,5 o lucro entra em um ciclo regular de 2 períodos (lucro x em um período e y no próximo, depois x, depois y, sucessivamente). Quando  $c = 3,5$  o sistema fica instável e começa a ter ciclos de 4 períodos. Com  $c = 4$  (ou maior que 4) o lucro vai explosivamente para o infinito (p.ex. na planilha Excel, para  $c = 4,15$  o sistema oscila com lucros positivos entre 0 e 1,0 até a sétima iteração, na nona está com um lucro negativo de 16, na décima com lucro negativo de 1.167 e na próxima com lucros negativos de 5,6 milhões).

**Figura 3: Um quadro do caos e da ordem**



Usando a Figura 3, podemos observar as seguintes propriedades dos sistemas caóticos, conforme definições de PETERS (1994):

a) Auto-similaridade – existem padrões dentro dos padrões que nunca são exatamente os mesmos, mas que são sempre similares (podemos usar a metáfora dos galhos de uma árvore que se bifurcam cada vez mais até chegar às micro-nervuras da folha, mas que têm praticamente o mesmo padrão de bifurcação). Nas organizações seria o equivalente às estruturas hierárquicas "piramidais" tradicionais (presidente – funcionários), que são similares tanto na matriz de uma empresa multinacional como em uma subsidiária de um pequeno país.

b) Escalonamento (*Scaling*) – quando examinamos os padrões de auto-similaridade em escalas cada vez menores, verificamos que eles são repetições de si mesmos (podemos "enxergar" o padrão de nervuras de uma árvore inteira em qualquer folha desta mesma árvore). Os padrões das estruturas e relações hierárquicas são praticamente os mesmos, seja na relação entre presidente e diretoria da matriz de uma multinacional, seja na relação chefe–subordinados de uma seção em uma subsidiária menor.

c) Fractal - é a propriedade de se fraturar em padrões auto-similares e escalonados.

d) Quebra de simetria - uma configuração ordenada se quebra e dá lugar a uma outra configuração que pode ou não ser ordenada.

A cada ponto crítico o sistema passa por um estado caótico que tem o efeito de destruir estruturas ou estados de comportamento existentes. É importante notar que a natureza das mudanças próximas do equilíbrio ou no equilíbrio e a das mudanças no não-equilíbrio são muito diferentes. No primeiro caso existe uma relação praticamente linear entre as variáveis do sistema; o sistema pode ser considerado como de resolução fechada (pequenas mudanças no ambiente são amortecidas pelo sistema e não afetam significativamente seu estado), ele se comporta de uma maneira repetitiva e previsível e a mudança de um estado de equilíbrio a outro é previsível e requer uma mudança significativa para acontecer. No segundo caso, no não-equilíbrio, não existe linearidade, os sistemas são de resolução aberta e afetados por distúrbios no ambiente.

As mudanças e os resultados são imprevisíveis, e podem apresentar transições abruptas do caos para uma ordem mais complexa ou desta para o caos.

e) Auto-organização - processo em que os componentes de um sistema espontaneamente se comunicam entre si e abruptamente "cooperam", num comportamento comum coordenado (por exemplo, na natureza, quando ocorre a cristalização do gelo. No gráfico é a "janela" de ordem que ocorre após uma "faixa" de caos). Nas organizações é o que ocorre quando, por exemplo, numa situação de emergência, todas as pessoas trabalham coordenadas e focadas em um objetivo comum, independentemente de seus objetivos individuais.

f) Transição de fase - é a mudança que encontramos próxima do equilíbrio, que leva à auto-organização do sistema e a um estado diferente de equilíbrio, mais organizado e ordenado (por exemplo, a água – um estado de equilíbrio – quando passa a vapor – outro estado de equilíbrio – experimenta um estado caótico – a ebulição – na mudança de fase).

Nas empresas seriam as mudanças que ocorrem, por exemplo, durante uma fusão ou aquisição.

g) Estrutura dissipativa - um processo de auto-organização que se desenvolve no não-equilíbrio frequentemente resulta em uma estrutura que apresenta uma forma muito mais complexa de comportamento. Sua característica distintiva é que ela requer uma entrada contínua de energia para ser sustentada (é, portanto, instável e difícil de se manter). Temos como exemplos o raio *laser* ou uma célula biológica.

### 3. DETECTANDO O CAOS

A Teoria do Caos oferece um caminho para se distinguir entre um comportamento puramente aleatório (resultado de choques randômicos e processos estocásticos), no qual a previsão é impossível, e um comportamento caótico (resultante de um sistema não-linear subjacente), no qual

a previsão de curto prazo (porém não de longo prazo) é possível. Técnicas estatísticas lineares tradicionais, como, por exemplo, a regressão linear, não são capazes de distinguir entre caos e aleatoriedade, portanto outras técnicas devem ser desenvolvidas.

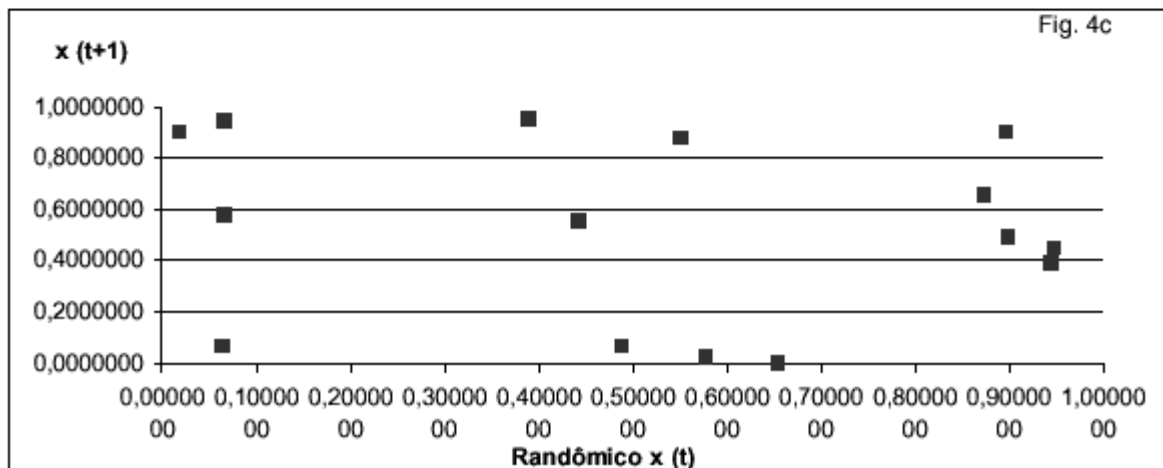
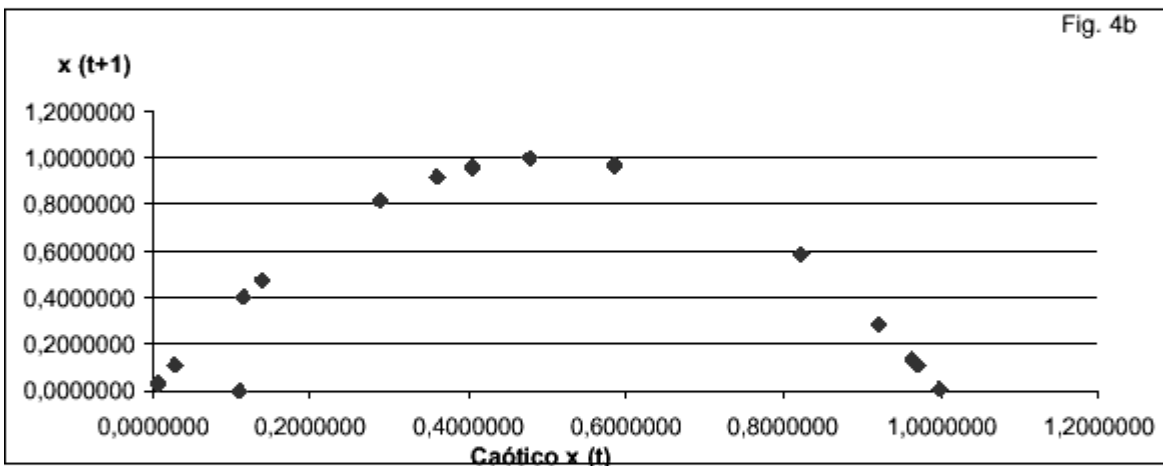
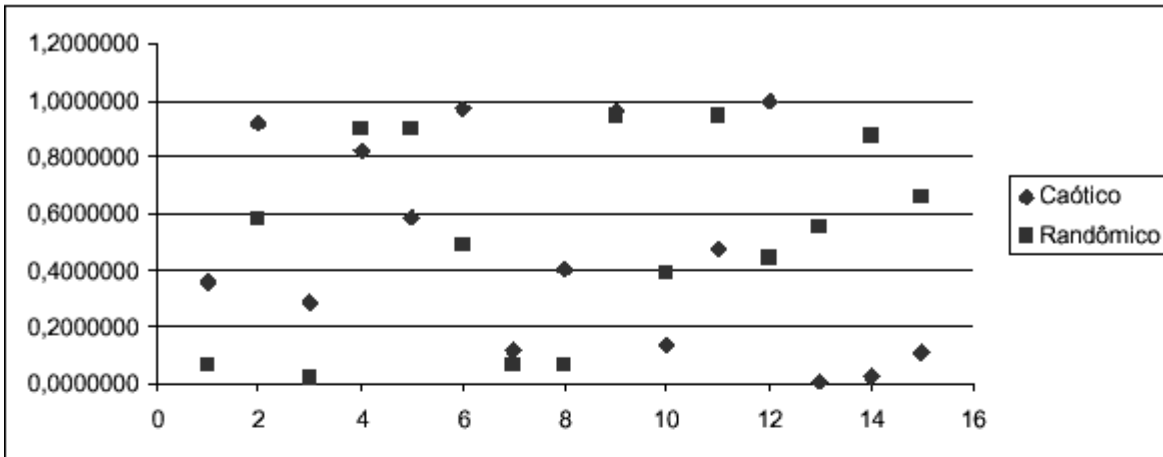
Segundo HIBBERT e WILKINSON (1994), existem quatro tipos básicos de métodos para se detectar o caos: o mapa de retornos, a dimensão de correlação, o expoente de Lyapunov e o erro de predição. Outro autor, PETERS (1994), descreve um método chamado de Análise R/S.

Veremos abaixo estes cinco métodos.

#### a) Mapa de Retornos

A Figura 4a mostra duas séries temporais, uma com números randômicos e outra com números caóticos gerados pela equação logística acima descrita, para  $c = 4,001$ . Na inspeção visual não é possível observar nenhuma diferença entre as duas séries se os valores de ambas forem plotados da maneira usual, ou seja, um número  $x(t)$  *versus* o tempo  $t$ . Entretanto, quando plotamos os valores de  $x(t)$  *versus* os valores de  $x(t+1)$  para ambas as séries caótica e randômica (Figuras 4b e 4c respectivamente) veremos que aparece uma clara diferença. Este é o chamado Mapa de Retornos. O formato do padrão resultante depende da natureza da equação subjacente (neste caso a parábola decorre da equação logística de 2º grau). Estes mapas podem ser feitos para valores de  $t$  *versus*  $(t+2)$  ou  $(t+3)$ , e assim por diante. Se o sistema for muito complexo, um grande número de dados pode ser requerido antes que algum padrão fique claro à inspeção visual.

**Figura 4: Mapa de retornos**



b) Dimensão de Correlação

A Dimensão de Correlação é a medida da não-aleatoriedade em um Mapa de Retornos.

Resumidamente, este método representa a distribuição dos pontos em um espaço de m-dimensões (os pontos aleatórios ficam espalhados pelo espaço e os caóticos, agrupados). O procedimento para calcular seu valor é direto, porém bastante complexo para ser implementado e requer séries de dados muito grandes. Para uma revisão mais detalhada deste e do próximo método, ver BROCK (1986).

c) O Expoente de Lyapunov

O Expoente de Lyapunov é uma medida das propriedades dinâmicas de um sistema.

Uma das propriedades de um sistema caótico é que pontos que inicialmente estejam muito próximos separam-se exponencialmente ao longo do tempo. Depois de  $N$  passos, a separação de dois pontos que estavam inicialmente separados por  $e$  é  $e \exp(Nl)$ , onde  $l$  é conhecido como expoente de Lyapunov. Para movimentos caóticos  $l$  é positivo, para um ponto de equilíbrio estável  $l$  é negativo e para uma oscilação periódica  $l$  é zero. A magnitude de um expoente de Lyapunov positivo também indica a velocidade de divergência dos dois caminhos. Como no método anterior, o cálculo também é complexo.

#### d) Erro de Predição

Este método mede a acuidade das predições baseadas no comportamento passado de uma série de dados. Segundo STACEY (1991), foi proposto por May e se baseia na premissa de que no caos podemos fazer predições de curto prazo, mas não de longo prazo, enquanto em sistemas puramente aleatórios não podemos fazer nem predições de curto prazo. O procedimento é o seguinte: primeiro, pegar uma série de  $m$  pontos das séries de dados, iniciando com  $m = 2$ ; segundo, pegar o primeiro conjunto de  $m$  pontos e inferir o seu próximo número; terceiro, determinar o erro (distância euclidiana) entre o valor real e o que foi inferido; quarto, repetir o processo para todas as séries de  $m$  pontos da série de dados; quinto, computar o erro médio  $E$ ; sexto, repetir os primeiros cinco passos para valores crescentes de  $m$ . Finalmente, plotar o gráfico  $E$  versus  $m$ . As séries caóticas mostram um baixo  $E$  para um pequeno  $m$ , porém os valores de  $E$  aumentam (a predição piora) com o aumento de  $m$ .

Nas séries randômicas o erro médio  $E$  é aproximadamente constante, independente do  $m$ .

e) Análise R/S ou intervalo reescalado (*rescaled range*) Segundo PETERS (1994), foi desenvolvida por Hurst para detectar uma "persistência", ou memória de longo prazo, em séries temporais e também para estimar a extensão dos ciclos periódicos e não-periódicos.

Esta análise é um processo estatístico simples e altamente dependente de dados, que "normaliza" a série de dados numa média zero e num desvio padrão 1, permitindo que diversos fenômenos e períodos de tempo sejam comparáveis (entretanto, é importante notar que, apesar das similaridades, o *rescaling* e a "normalização" são processos diferentes).

Além disso, assim como os fractais se escalonam de acordo com uma lei de potenciação, os valores de R/S também se escalonam conforme aumentamos o incremento de tempo  $n$  por um valor de potência  $H$ , chamado de Expoente de Hurst.

Definindo-se  $R$  (*Range*) como o intervalo reescalado, ajustado para deixar a média igual a zero,  $S$  (*Standard Deviation*) o desvio padrão,  $c$  uma constante e  $n$  o número de observações (idealmente  $n \geq 10$ ), a equação fica:

$$(R/S)_n = c * n^H$$

Para estimar o expoente de Hurst, temos:

$$\log(R/S) = H * \log(n) + \log(c)$$

De acordo com a teoria original,  $H = 0,50$  implicaria um processo independente, randômico (não necessariamente um processo Gaussiano). Se  $0,50 < H \leq 1,00$ , então a série temporal é persistente (caracterizada por efeitos de memória de longo prazo), e se  $0 \leq H < 0,50$ , significa antipersistência (o sistema cobre uma distância menor do que um sistema aleatório).

## 4. O CAOS E AS ORGANIZAÇÕES

Segundo STACEY (1991), alguns dos aspectos bem conhecidos da natureza das organizações são:

- As organizações são um conjunto de alças de retroalimentação entre indicadores de *performance*, no ambiente interno (entre as pessoas dentro da organização) e entre o ambiente interno e externo (entre as pessoas de dentro e de fora da organização);

- Existem restrições atuando na organização – físicas, financeiras, psicológicas;
- As organizações moldam as necessidades dos consumidores através da oferta de produtos e serviços que seguem ciclos de vida não-lineares;
- A oferta de produtos e serviços se espalha pelas populações de consumidores de uma maneira auto-reforçadora (alça de *feedback*);
- Em seu nível mais básico as organizações têm que resolver um número de tensões entre forças de integração e divisão.

O Caos científico nos diz que:

- A ordem gera desordem: *the chaos is within. Regras fixas de feedback não-linear geram uma miríade de comportamentos, alguns ordenados, outros desordenados. Os sistemas são atraídos para alguns estados de equilíbrio previsíveis, e suas fronteiras são desordenadas e caóticas. O comportamento na fronteira é aleatório e totalmente imprevisível em relação ao caminho a ser tomado.*
- Há ordem dentro da desordem: a seqüência de comportamentos é previsível conforme aumentamos o valor dos parâmetros de controle do mecanismo, e o resultado totalmente imprevisível do caminho tomado tem um padrão de auto-similaridade. Em outras palavras, não sabemos quando e onde os galhos de uma determinada árvore vão bifurcar-se, mas podemos prever como vai ser, de uma maneira geral, a forma final de uma árvore daquela espécie.
- A desordem gera ordem: uma nova ordem ou estrutura não pode emergir sem destruir primeiro a antiga e este período de destruição é de desordem, confusão, caos.
- Novas ordens periodicamente emergem em pontos críticos e de uma forma imprevisível por meio de um processo de auto-organização.
- A nova ordem terá uma vida curta e difícil de se manter em sistemas continuamente inovadores se não tiver entradas sustentáveis de energia e atenção.

Utilizando o arcabouço teórico explorado mais acima, podemos extrapolar o que a perspectiva do Caos significa para estas organizações ou sistemas dinâmicos:

- O futuro de curto prazo pode ser previsível e requer formas racionais e analíticas de controle. Isto já é normalmente utilizado nas organizações.
- Já o futuro de longo prazo é completamente desconhecido e imprevisível, o que torna modelos financeiros, simulações e planos de longo prazo de muito pouco valor. Essa abordagem inovadora, segundo HAYWARD e PRESTON (1999), é contrária à lógica corrente das organizações que assumem pressupostos de racionalidade, previsibilidade e controle.
- Podemos usar, porém, padrões qualitativos similares (auto-similaridade) para desenvolver novos padrões mentais para quando este futuro chegar. Não é ter um comportamento reativo ou pró-ativo, mas sim criativo e inovador. Um exemplo deste tipo de comportamento são as *learning organizations* ou organizações de aprendizagem (HAYWARD e PRESTON, 1999), que se baseiam em sistemas flexíveis, no aprendizado organizacional, na inteligência coletiva e no compartilhamento das informações em todos os níveis.
- Às vezes não há relação de causa e efeito nos acontecimentos dos negócios. Os administradores devem verificar se as alterações observadas são inerentes ao próprio sistema e a suas regras (por exemplo, uma política de gastos em propaganda no ano "t" sendo uma porcentagem fixa dos lucros do ano "t-1", conforme visto anteriormente na modelagem matemática) e não procurar somente fatores "externos".
- Pequenas mudanças podem ser amplificadas por círculos viciosos ou virtuosos de *feedback*, e podem ocorrer aleatoriamente (um exemplo típico, segundo BATEMAN e SNELL (1998), é a comunicação informal, também chamada de "rádio-peão", que pode ser destrutiva quando

"fofocas" e rumores irrelevantes proliferam e amplificam-se, danificando as operações). As organizações devem, portanto, comportar-se de uma maneira aberta e sensível ao seu ambiente.

- As organizações criam e são criadas por este ambiente. Um exemplo é a criação e a manutenção auto-reforçadora de uma dada cultura organizacional. Segundo ROBBINS (1999), uma cultura forte é um ativo importante quando uma organização enfrenta um ambiente estável, mas quando este está passando por mudanças rápidas, uma cultura "engessada" pode não ser a mais adequada e pode tornar-se uma barreira à mudança, com conseqüências sérias.
- A inovação ou, por exemplo, uma nova direção estratégica, só pode acontecer se a instabilidade for primeiro experimentada, pois é muito difícil mudar sistemas em equilíbrio. O caos é essencial a uma nova ordem.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Leis fixas e imutáveis governam o comportamento dos sistemas da natureza.

Entretanto, estas regras e relações determinísticas podem gerar comportamentos muito complexos e, sob certas circunstâncias, inerentemente randômicos. Estes comportamentos complexos são gerados por uma "mistura" de regras relativamente simples e um mecanismo de *feedback* não-linear.

Mudanças ínfimas nas condições iniciais dos parâmetros destas regras podem levar, sob certas circunstâncias, a enormes mudanças de comportamento do sistema. Esta dependência às condições iniciais significa que erros de medição, não importa quão pequenos sejam, são extremamente importantes e não podem ser desprezados como um "ruído". Um ponto importante que decorre disto é que, em situações caóticas, um grau de precisão infinito é necessário para se fazer uma previsão de longo prazo.

Mesmo se tivermos uma ordem completa em todas as entradas do sistema e uma ordem completa na estrutura das regras, podemos obter como resultado uma completa desordem, ou seja, a razão deste comportamento desordenado é a própria estrutura do negócio. Nada está mudando nos mercados, nada está mudando nas regras de decisão e ainda assim o lucro da empresa flutua de uma maneira aleatória. Isto significa que nem sempre existe uma causa específica para os efeitos que observamos.

Desordem, turbulência e caos são observados porque eles realmente existem e não são fruto da "ignorância" humana (falta de informações mais completas, de medições mais acuradas, de pesquisas mais específicas, de tecnologia adequada, etc.).

São as restrições do sistema que nos proporcionam a estabilidade, a auto-similaridade que nos deixa aptos a lidar com o caos. Sem as restrições nós temos a desordem absoluta; com as restrições, porém, nós temos o caos.

Um dos estados de equilíbrio de uma organização é seu isolamento do mercado. O outro estado de equilíbrio é sua completa adaptação ao mercado.

Organizações que estão perto ou nestes estados de equilíbrio são incapazes de lidar com as rápidas mudanças. No primeiro caso, porque está "engessada" por regras formais e estruturas complexas, e no segundo, pela total falta de cooperação e sinergia entre suas unidades (desintegração).

O sucesso, a interação criativa (no sentido de que a organização cria e é criada pelo seu ambiente), encontram-se entre estes dois pólos, numa tensão que requer tanto a integração como a divisão, separação e sinergia, alas conservadoras e radicais, poder centralizado e descentralizado. Como vimos, todavia, longe do equilíbrio a organização fica instável e requer muita energia e esforço para se manter...

A conclusão, contra a lógica corrente dos negócios, é que o sucesso de uma organização está num estado longe do equilíbrio.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BATEMAN, T. S. e SNELL, S. A. *Administração: construindo vantagem competitiva*. São Paulo: Atlas, 1998.
- BROCK, W. A. Distinguishing random and deterministic systems. *Journal of Economic Theory*, New York: Academic Press, v. 40, p. 168-195, out. 1986.
- BROCK, W. A. e LE BARON, B. D. *Nonlinear dynamics, chaos and instability: statistical theory and economic evidence*. Cambridge: The MIT Press, 1993.
- DOUGLAS, E. J. *Managerial economics: analysis and strategy*. 4. ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1992.
- GLEICK, J. *Caos: a criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Campus, 1990.
- HAYWARD, T. e PRESTON, J. Chaos theory, economics and information: the implications for strategic decision-making. *Journal of Information Science*, Amsterdam, NL: Institute of Information Scientist, v. 25, n. 3, p.173-182, 1999.
- HIBBERT, B. e WILKINSON, I. F. Chaos Theory and the dynamics of marketing systems. *Journal of the Academy of Marketing Science*, [s.l.], v.22, n. 3, p. 218-233, 1994.
- LAKATOS, E. M. e MARCONI, M. de A. *Metodologia científica*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- MATTAR, F. N., FOWLER, F. R., TAVARES, M. C. e PIEREN, R. W. Redação de documentos acadêmicos: conteúdo e forma. *Caderno de Pesquisas em Administração*, São Paulo: FEA/USP, v.1, n.3, p. 1-30, 2. sem, 1996.
- PARKER, D. e STACEY, R. *Caos, administração e economia: as implicações do pensamento não-linear*. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 1995.
- PETERS, E. E. *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics*. New York: Wiley, 1994.
- PRIGOGINE, I. e STENGERS, I. *Order out of chaos: man's new dialogue with nature*. New York: Bantam Books, 1984.
- ROBBINS, S. P. *Comportamento organizacional*. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.
- RUELLE, D. *Chance and chaos*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1991.
- STACEY, R. D. *The chaos frontier: creative strategic control for business*. Oxford: Butterworth Heinmann, 1991.