

Uma análise do caos na dinâmica do espaço emocional

RESUMO - Este artigo apresenta análises sobre o sistema de equações de Lorenz (1996), que foram modificadas para representar as dimensões do espaço emocional, que serviu de base às simulações realizadas por Losada e Heaphy (1998) à construção do Modelo de Meta-aprendizagem (MA), aplicado à avaliação de desempenho de empresas. Por outro lado, também descreve a equação logística, cuja curva mostra que os sistemas reais – físicos, biológicos ou sociais atingem saturação ao longo do tempo, devido ao esgotamento de algum meio ou dos fluxos e estoques de uma variável. São também estudadas as hipóteses assumidas intuitivamente por Carneiro (2006) para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de desempenho de grupos acadêmicos, cujas análises foram remetidas a este artigo, especialmente para os leitores interessados na representação matemática dos fenômenos sob investigação. As verificações empíricas são objetos de outra pesquisa em andamento.

PALAVRAS-CHAVE - alto desempenho; grupos acadêmicos; avaliação; espaço emocional

Classificação do JEL - C0, M2

ABSTRACT: This paper presents some analysis on Lorenz (1996) system of equations, modified to represent the dimensions of the emotional space, which served as the basis of the simulations developed by Losada and Heaphy (1998) for the construction of the Meta-learning Model applied to performance evaluation of enterprises. On the other hand describes the logistic equation, showing the saturation with time for physical, biological or social systems as a result of the running out of some essential means - flux or stock of a variable. The hypothesis assumed from intuition by Carneiro (2006) are also studied for the development of a methodology of performance evaluation and construction of academic groups, whose analysis were left to this paper, specially for the readers interested on the mathematical representations of the processes under investigation. The empirical verifications are the object of a research at present under development.

KEY-WORDS - high performance; academic groups; evaluation; emotional space

JEL Classification - C0, M2

Ivan Rocha Neto*

* Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa / Universidade Católica de Brasília
SGAN 916 Módulo B Sala B 304 – Campus II – Asa Norte
CEP 70.790-160 – Brasília/DF
Fone: (61) 3448-7112
Fax: (61) 3347-4797
E-mail: ivan@pos.ucb.br

1. Introdução

O sistema de equações de Lorenz (1996) foi desenvolvido a partir de um experimento desenhado com o objetivo de realizar previsões meteorológicas, cujos resultados deram origem à Teoria do Caos. Desde então, tem sido usado como referência à investigação de sistemas submetidos a processos presumivelmente caóticos.

Este artigo apresenta análises sobre este sistema de equações, que serviu de base às simulações realizadas por Losada e Heapthy (1998), na construção do Modelo de Meta-aprendizagem (MA), aplicado à avaliação de desempenho de empresas. Por outro lado, também apresenta a equação logística, cuja curva mostra que os sistemas reais - físicos, biológicos ou sociais atingem saturação ao longo do tempo, devido ao esgotamento de algum recurso essencial. Tal demonstração se tornou necessária à aplicação de um modelo evolutivo (ME), desenvolvido por Rocha (2004) para explicar o desempenho de organizações, com base na gestão de três ativos - espaço emocional, meios e inteligência/conhecimento. São também investigadas as hipóteses assumidas intuitivamente no desenvolvimento de uma nova metodologia de avaliação de desempenho de grupos acadêmicos, especialmente para os leitores interessados na representação matemática dos fenômenos sob investigação. Os conceitos

da Teoria do Caos não são reapresentados neste artigo, lembrando de forma muito sintética aqueles realmente essenciais às demonstrações.

As verificações empíricas da metodologia de avaliação proposta são objetos de um projeto de pesquisa sobre aplicações da Teoria da Complexidade à Gestão do Conhecimento.

2. Espaço emocional

As dimensões que constituem o espaço emocional são entendidas como geradoras de polaridades (tensões): positividade $\times$ negatividade; eu $\times$ outro; e advocacia $\times$ questionamento. As equações de Lorenz (1993) utilizadas por Losada e Heapthy (1998) para representar dinâmicas complexas de organizações de alto desempenho, resultaram de simulações com base nos dados obtidos nas séries temporais das três variáveis escolhidas. As variáveis de Lorenz (1993) – pressão, temperatura e velocidade, foram substituídas pelas três que constituem o espaço emocional (ECHEVERRIA, 1994), conforme mostra a figura a seguir: relação eu/outro (z) – que expressa uma linguagem individualista (eu) em oposição à coletiva (nós); positividade/negatividade (y) – relação entre permissões e estímulos versus negativas e frustrações; e, questionamento/advocacia (x), que expressam a capacidade de escuta ativa e crítica em relação à proposição ou defesa de idéias.

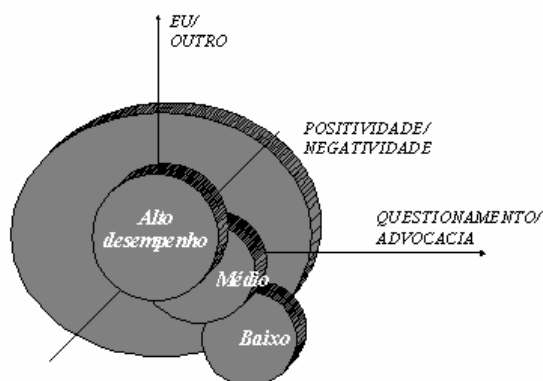


Figura 1: Representação do Espaço Emocional
Fonte: Losada e Heapthy (1998)

A escolha das três variáveis que representam as dimensões do espaço emocional não foi arbitrária, mas teve base nos resultados de outras pesquisas realizadas com objetivos diferentes e em contextos distintos. Por exemplo, a pesquisa relatada por Gottman (1994). Ele examinou as relações entre casais e famílias.

O argumento se baseia em um espaço emocional expansivo (positivo), tal como definido, que permite que os observadores vislumbrem mais possibilidades que o contrário, gerando atitudes positivas na direção da realização de projetos. É intuitivo que pessoas positivas e motivadas enxergarão mais facilmente as oportunidades e os pontos fortes, enquanto aquelas depressivas ou pessimistas se concentrarão nos pontos fracos e nas ameaças.

As mesmas conclusões foram expressas por autores como, por exemplo, Hock (1999) que acredita que posses e dinheiro não são os principais fatores de estímulo ao coração e ao espírito das pessoas. Para este autor, isto só é possível por meio da potenciação das crenças, dos princípios e dos valores de cada um. Não obstante, parece óbvio que recursos e meios materiais básicos ampliam ou limitam as possibilidades de realização dos sonhos, ou mesmo a positividade dos indivíduos, com relação às tendências ou interesses individualistas e/ou coletivos. Esta também tem sido a conclusão geral nos meios científicos e também no senso comum que posses demais não resultam em “felicidade”, mas carências muito agudas podem produzir frustrações e não atendimento às necessidades básicas das pessoas. O autor não irá trabalhar com a idéia de “felicidade”, mas com a de motivação e satisfação. Nos experimentos realizados por Losada (1999) a dimensão dos meios e sua disposição não foi explicitada, mas se supõe ter sido considerada no contexto da positividade/negatividade – ou percepção de possibilidades.

As equações que reproduzem a figura em forma de “borboleta” no espaço de fase são as equações de Lorenz (1996),

que representam comportamento caótico ou fluxos não periódicos, tais como os observados nas simulações de Losada e Heaphy (1998).

$$\begin{aligned} dx/dt &= \sigma(y - x) \\ dy/dt &= rx - y - xz \\ dz/dt &= xy - bz \end{aligned}$$

As variáveis x, y e z são as dimensões do espaço emocional. Os três parâmetros b, σ e r regulam o comportamento do sistema. Para obter a figura de uma borboleta os parâmetros verificados nas simulações foram fixados em $b = 8/3$; $\sigma = 10$; $r = 28$) (LORENZ, 1993).

O sistema de equações escolhido por Losada e Heaphy (1998) para representar as dimensões do Espaço Emocional foi modificado do sistema de Lorenz (1993, *op. cit*), utilizado para previsões de tempo, substituindo o parâmetro b por uma relação com outra constante c , que representa conectividade. Foi deduzido que:

$$P/N = (c - i - 1)b^{-1}$$

Onde P/N representa a relação de positividade/negatividade, c a conectividade definida pelo número de conexões (n_{exi}) e i é o valor inicial e b^{-1} é o inverso do respectivo parâmetro de Lorenz.

Segundo Losada e Heaphy (1998, *op. cit*), o parâmetro c (conectividade) foi obtido pela transformada de Fourier das séries temporais (uma forma de correlação), obtidas nas observações realizadas em laboratório. Significa o número médio de enlaces entre os participantes de reuniões de planejamento estratégico, envolvendo grupos de oito pessoas de 60 organizações em suas reuniões de planejamento estratégico. Foi observada a figura semelhante à de uma borboleta no espaço de fase, sugerindo que as variáveis do espaço emocional poderiam ser representadas pelas equações de Lorenz (1993).

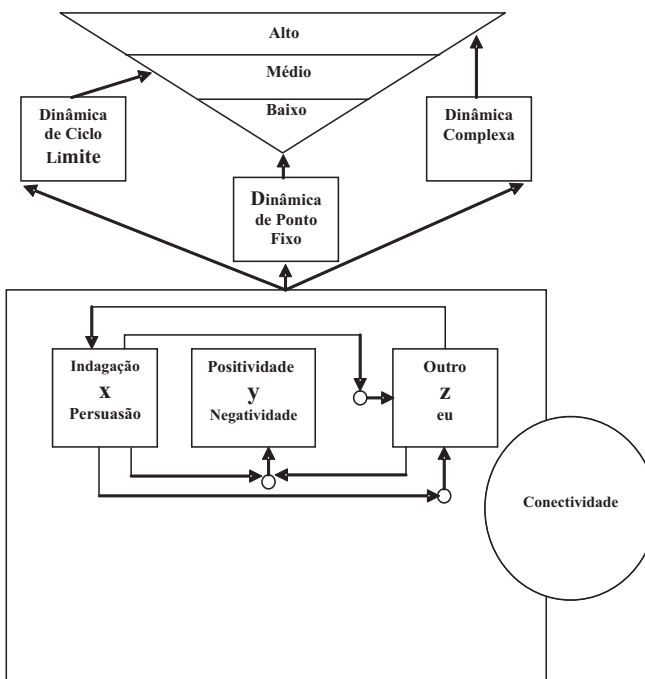
Quando a conectividade era alta ($n_{exi} = 32$), observaram um equilíbrio entre questionamentos e advocacias, bem como entre a relação eu/outro, sendo que se revelava alta a positividade/negatividade. Por outro lado, quando a conectividade situava-se no nível intermediário ($n_{exi} =$

22), a relação positividade/negatividade mostrava-se muito inferior e equilibrada em relação às demais variáveis. Quando a conectividade era baixa ($nexi = 18$) havia também desequilíbrio em relação às outras duas variáveis.

As relações de interdependência entre as variáveis do espaço emocional são apresentadas de acordo com um sistema de equações não lineares descritas por Losada e Heaphy (1998, *op. cit.*). Os pequenos

círculos na figura representam interações/multiplicações entre as variáveis. Pode-se depreender que $P/N = y$ envolve duas entradas que resultam das demais variáveis eu/outro e questionamento/advocacia. Essas duas entradas interagem multiplicando, refletindo a não linearidade produzida pela interação, que afeta a relação positividade/negatividade. Quando $P/N = y$ estava em alta o espaço emocional ficava também em expansão.

Figura 2: Representação gráfica das equações de Lorenz, modificadas.



Os círculos na figura representam multiplicações, que introduzem não linearidades (xy , e xz) do sistema de equações que a figura representa. Por outro lado, as entradas e saídas da variável z (questionamento/advocacia), a entrada vem da variável x (eu/outro), significando que o equilíbrio em z depende do equilíbrio de x .

Intuitivamente, para que os questionamentos sejam efetivos há necessidade da simpatia dos outros participantes. As saídas que envolvem a variável questionamento/advocacia alimentam a variável positividade/negatividade, por meio de uma interação não linear, pela qual podem ser gerados efeitos complexos e sutis nas demais variáveis.

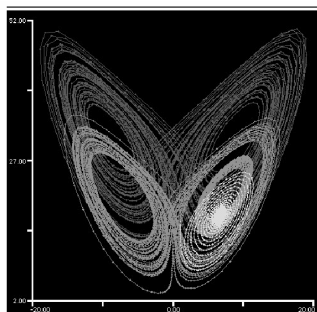
As equações transformadas resultaram em

$$\begin{aligned} x &= \text{questionamento/advocacia} \quad dx/dt = a(z - x), \quad \sigma = 10 \\ y &= \text{positividade/negatividade} \quad dy/dt = xz - by, \quad b = 8/3 \\ z &= \text{eu/outro} \quad dz/dt = cx - xy - cz, \quad c = \text{conectividade} (nexi) \end{aligned}$$

Onde σ e b são também os parâmetros usados por LORENZ.

Tal como o sistema de equações de Lorenz, a representação no espaço de fase apresenta, dentro de certas condições, forma semelhante à de uma borboleta, conforme figura a seguir.

Figura 3: Mapa de fase do espaço emocional (forma de borboleta)



FONTE: Losada e Heaphy (1998)

Os desempenhos das equipes foram classificados em três níveis: baixo, médio e alto. O MA foi desenvolvido a partir de séries temporais das variáveis que compõem o espaço emocional obtidas da observação de reuniões anuais de planejamento estratégico de equipes de dirigentes de 60 organizações, que foram assistidas no ambiente do CAPTURELAB, com uma poderosa e dispendiosa estrutura de processamento de dados, conforme declarado pelos autores do Modelo.

As equipes sob observação “foram selecionadas com base nas avaliações de desempenho realizadas pelas próprias empresas, clientes e organizações participantes” e foram todas compostas de oito pessoas cada. As medidas foram feitas com base na identificação de atos lingüísticos contidos em frases ou sentenças completas, que expressavam encorajamento (positividade) ou negatividade (sarcasmo, desinteresse ou cinismo). Da mesma forma, identificaram as sentenças que expressavam advocacia ou questionamentos; igualmente, quando expressavam individualismo ou interesses coletivos.

Interações positivas funcionam como poderosas realimentações que expandem o espaço emocional das equipes. Demonstraram que relações positividade/negatividade (P/N) “determinam” as dinâ-

micas de equipes e organizações.

Por meio de verificações empíricas do MA puderam observar que distintos níveis de conectividade criam dinâmicas não lineares que podem ser associadas aos desempenhos de grupos de negócios. Explicitando as relações entre (P/N) e conectividade, a primeira variável explicou o desempenho das equipes. Esta conclusão tem importantes implicações à gestão de empresas e outras organizações ou para constituição de equipes de alto desempenho em qualquer ambiente. Além disso, a vantagem de aferir a relação positividade/negatividade, como corolário da conectividade, tornou mais fácil realizar as medidas necessárias à validação do Modelo.

Ao fim do processo foram identificados 15 grupos, definidos como os que demonstraram alto desempenho consistente de acordo com os seguintes critérios: lucratividade, satisfação dos clientes e percepções por parte dos superiores, pares e subordinados. Outras 26 equipes mostraram desempenhos médios; enquanto 19, medíocres. Com base no mapeamento dos resultados, que se assemelhou à forma de uma borboleta, sugerindo uma dinâmica de Lorenz (figura em forma de borboleta) para previsão do tempo, os referidos pesquisadores adaptaram e propuseram um sistema de equações diferenciais semelhantes para representar o MA.

3. Integração numérica

De uma forma geral, as soluções de equações cujos resultados particulares são caóticos não têm sido encontradas analiticamente, mas aproximações podem ser obtidas por métodos numéricos. As equações diferenciais que representam os fluxos nos processos não lineares têm sido obtidas por integrações numéricas realizadas por programas gráficos realizados por computador (LORENZ, 1993, *op. cit.*). Os mapeamentos são obtidos por meio de equações em diferenças que expressam estados futuros das variáveis, a partir dos estados presentes (processos determinísticos), e de valores iniciais escolhidos para gerar seqüências cronológicas. Um dos métodos mais

conhecidos de integração numérica é o de Range-Kutta de quarta ordem.

Para resolver um sistema típico, como por exemplo,

$$dX/dt = F(X, Y)$$

$$dY/dt = G(X, Y)$$

intervalos de tempo Δt são escolhidos de forma conveniente. Para obter $X(t + \Delta t)$ e $Y(t + \Delta t)$, quando X e Y são conhecidos ou fixados em um instante inicial, então,

$$X_0 = X(t)$$

$$X_1 = X_0 + F(X_0, Y_0) \Delta t/2$$

$$X_2 = X_0 + F(X_1, Y_1) \Delta t/2$$

$$X_3 = X_0 + F(X_2, Y_2) \Delta t/2, \text{ e}$$

$$X_4 = X_0 + F(X_3, Y_3) \Delta t/2$$

Finalmente,

$$X(t + \Delta t) = (X_1 + 2X_2 + X_3 + X_4) / 3$$

Expressões idênticas são usadas para Y .

O procedimento pode ser repetido para vários intervalos de tempo Δt .

O método produz resultados bastante precisos para intervalos de tempo bastante pequenos, mas conseqüências bizarras podem ocorrer se Δt for muito grande.

No caso em questão, as condições iniciais foram: $X_0 = 1$, $Y_0 = 16$, $Z_0 = 1$, com integração numérica de 0,02 unidades de tempo, de acordo com o algoritmo de Range-Kutta de quarta ordem (LOSADA e HEAPHY, 1998 *op. cit.*).

De acordo com Lorenz (1996), quando o método de Range-Kutta ou qualquer outro de integração numérica é usado para resolver um sistema de equações diferenciais, produz-se geralmente uma pequena, porém persistente troca de energia, além de quaisquer variações sob demanda das próprias soluções. Se o sistema for dissipativo (perde energia para o ambiente), este efeito altera levemente o processo. Se por outro lado, o sistema é conservativo ou ganha energia de fontes externas, o fenômeno tanto pode acelerar o processo quanto aumentar as perdas, ensejando propriedades bem distintas. Portanto, é importante a escolha de intervalos de tempo suficientemente pequenos, no

sentido de eliminar efeitos espúrios do processo.

4. Hipóteses

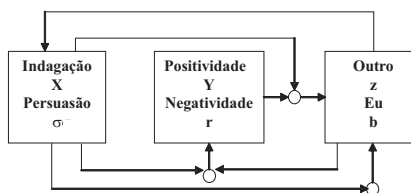
No desenvolvimento de uma nova metodologia de avaliação de desempenho de grupos acadêmicos (CARNEIRO, 2006) formularam-se hipóteses que poderão ser teoricamente verificadas com base nas equações de Lorenz, assumindo que estas são também adequadas para representar as dinâmicas envolvidas entre as três variáveis escolhidas. O fundamento para tal suposição é sustentado pelo resultado de Losada e Heaphy (1998, *op. cit.*), que reduziu o condicionante da dinâmica complexa ao comportamento da variável conectividade. A variável conectividade também é assumida no método proposto, associando-se à disposição dos meios e à gestão do conhecimento.

4.1. Primeira hipótese

A primeira hipótese assumida por Carneiro (2006) no ensaio que serviu de base à construção da metodologia proposta pode ser enunciada da seguinte forma: para obter dinâmica complexa, segundo as equações de Lorenz, há necessidade de interação de pelo menos três processos (variáveis) ou um sistema de equações de dimensão $n=3$

A partir da figura 2, que representa o sistema de equações de Lorenz, podemos eliminar uma variável de cada vez, reduzindo-o a duas variáveis no sentido de investigar o que ocorre com somente duas.

$$\begin{aligned} dx/dt &= \sigma(y - x) \\ dy/dt &= rx - y - xz \\ dz/dt &= xy - bz \end{aligned}$$



Eliminando a variável z , ter-se-ia:

$$dx/dt = \sigma(y - x)$$

$$dy/dt = rx - y$$

Por outro lado, sem considerar a variável y

$$dx/dt = -\sigma x$$

$$dz/dt = -bz$$

Eliminando a variável x ,

$$dy/dt = -y$$

$$dz/dt = -bz$$

Uma demonstração mais geral em Johnson N.F, Jefferies, P e Ming Hui, P, (2003), é brevemente reproduzida a seguir.

Seja um sistema para $n = 2$, representado conforme a seguir.

$$dx/dt = f(x, y)$$

$$dy/dt = g(x, y)$$

Um ponto fixo (x_0, y_0) pode ser obtido resolvendo $dx/dt=0$ e $dy/dt=0$ (pontos estacionários). Suponhamos também pequenas perturbações externas $x(t) = x_0 + \varepsilon(t)$ e $y(t) = y_0 + v(t)$. Pode-se demonstrar (JOHNSON N.F, JEFFERIES, P e MING HUI, P, 2003) que as soluções de $\varepsilon(t)$ e $v(t)$ conduzem a quatro situações distintas, tal como havia sido intuitivamente proposto por Carneiro (2006).

Se $\varepsilon(t) = e^{\lambda_1 t} e$, $v(t) = e^{\lambda_2 t}$

- $\lambda_1 > 0$ e $\lambda_2 > 0$ Repulsão (instável)
- $\lambda_1 < 0$ e $\lambda_2 < 0$ Atração – ponto fixo,
- $\lambda_1 < 0$ e $\lambda_2 > 0$ ou $\lambda_1 > 0$ e $\lambda_2 < 0$ Ponto sela ou hiperbólico
- λ_1 e λ_2 imaginários - Oscilador

Por outro lado, para $n = 3$, a situação torna-se mais complexa e enseja a possibilidade de caos (JOHNSON N.F, JEFFERIES, P e MING HUI, P, 2003 opus cit), quando o atrator se torna estranho (tipo borboleta).

Seja por exemplo, o sistema de equações de LORENZ,

$$dx/dt = \sigma(y - x)$$

$$dy/dt = rx - y - xz$$

$$dz/dt = xy - bz$$

Supondo $(0,0,0)$ como ponto fixo e pequenas perturbações em torno da origem,

O sistema fica estável para $r < 1$ e instável para $r > 1$.

Para $r = 24,1$ resulta no atrator estranho (borboleta de Lorenz) e se inicia um processo caótico.

Conclusão: a eliminação de quaisquer das variáveis ou processos resulta em sistemas lineares, confirmando a hipótese de que são necessários os três processos para se obter dinâmica complexa (não linear). Isto mostra que modelos de malha dupla não geram dinâmicas complexas.

4.2. Segunda hipótese

Demonstrada a hipótese anterior para o caso do sistema de Lorenz implica dizer da conexão de três processos para obter dinâmica complexa. Importa ainda investigar se há necessidade de um deles se desenvolver em oposição aos outros dois, que constitui a segunda hipótese assumida por Carneiro (2006).

Sejam as equações

$$dx/dt = \sigma(y - x)$$

$$dy/dt = rx - y - xz$$

$$dz/dt = xy - bz$$

Se $dx/dt = 0$ ponto estacionário, ou seja, que satisfaz a condição,

$dx/dt = F(x, y)$ ou $dy/dt = G(x, y)$ nos pontos (x_0, y_0) para $F(x_0, y_0)$ e $G(x_0, y_0)$, então, $y = x$.

Neste caso, a derivada segunda indica o sentido da evolução da taxa de variação de uma variável em relação ao tempo $d^2x/dt^2 = \sigma dy/dt$, que será positiva se $dy/dt > 0$, pois $\sigma > 0$. Neste instante x se encontra no mínimo e tenderá a crescer, iniciando sinergia com y que também está crescendo. Por outro lado, resulta que $d^2z/dt^2 = -bz/dt$ se $dx/dt = 0$. Se $dz/dt > 0$ então $d^2z/dt^2 < 0$, pois $b > 0$, z estará desacelerando. Se $dz/dt < 0$ está decaindo z está positivo, mas decrescendo. Em qualquer caso, isto demonstra a hipótese enunciada acima – a necessidade de um processo desacelerar,

enquanto os outros dois aceleram desenvolvendo sinergia (composição positiva) no sentido de manter dinâmica complexa. O mesmo se dará se x e z ou x e y estiverem em sinergia.

Por outro lado, se fixarmos uma variável, o que aconteceria? Seja $x = \text{constante}$ e $dx/dt = 0$, o que equivale à situação anterior.

Se por outro lado, z estiver em uma situação estacionária, conforme condição conceituada anteriormente ter-se-á: $dz/dt = 0$. Neste caso, $xy/z = b$ e $xdy/dt = -ydx/dt$, mostrando que x e y evoluem em sentido contrário.

Alternativamente, suponhamos que $y = \text{constante}$. Então, $rx - y - xz = 0$ ou $rdx/dt - xdz/dt - zdx/dt = 0$ ou $(r - z)dx/dt = xdz/dt$.

Se ambos $dx/dt > 0$, e $dz/dt > 0$ então $x/(r - z) > 0$, $r > z$ se x positivo (dentro de um raio r definido em torno de um centro), o que equivale a dizer que z está depreciado, mas em crescimento, limitado à região no entorno de r .

Para sistemas que não perdem energia ou não ganham de sistema externo, a demonstração é trivial, pois $dx/dt + dy/dt + dz/dt = 0$; logo, a queda de uma das variáveis compensa a sinergia das outras duas.

Conclusão: Quando três processos interagem segundo uma dinâmica caótica, dois sempre se encontram em sinergia e em contraposição ao terceiro, o que confirma a hipótese - há necessidade de um deles se desenvolver em oposição aos outros dois, que constitui a segunda hipótese assumida por Carneiro (2006).

4.3. Terceira hipótese

A terceira hipótese formulada é que se por alguma razão for imposta uma restrição muito forte em um dos estoques (variável), então o sistema tenderá a um ponto fixo e entrará em colapso.

Suponhamos uma equipe evoluindo, segundo uma dinâmica caótica representada pelas equações de Lorenz (1996) com alta conectividade entre seus membros, conforme proposto por Losada e Heaphy (1998), isto é, espaço emocional em

expansão (positivo). Se por alguma razão há uma restrição muito forte nos meios físicos ou financeiros para realização de investimentos ou, ainda, para contratação de pessoas para compor a inteligência necessária à consecução de projetos, o processo perde dinâmica complexa (sai do regime de caos) e tende a uma dinâmica de ponto fixo. Não é possível estimular a realização de projetos (exibir alta positividade) sem suficiente disposição de meios. Então a variável positividade será fortemente deprimida. Uma equipe competente e motivada, com demanda de projetos, pode se tornar inerte por falta de meios. Em outras palavras, os sistemas saem do regime caótico. Esta é hipótese intuitiva pode ser demonstrada conforme a seguir.

Sejam novamente as equações

$$\begin{aligned} dx/dt &= \sigma(y - x) \\ dy/dt &= rx - y - xz \\ dz/dt &= xy - bz \end{aligned}$$

Suponhamos $x = \text{constante} = 0$ (esgotamento), então

$$\begin{aligned} dy/dt &= -y \\ dz/dt &= -bz \end{aligned}$$

Não há mais dinâmica caótica. As variáveis se tornam independentes e as outras duas variáveis decaem rapidamente com o tempo e tenderão a um ponto fixo.

Tal demonstração se tornou necessária à aplicação de um modelo evolutivo (ME), desenvolvido por Rocha (2004), para explicar o desempenho de organizações, com base na gestão de três ativos - espaço emocional, meios e inteligência/conhecimento.

5. A equação logística

Conforme mostrado anteriormente, uma característica importante dos sistemas complexos é a não linearidade. Nas relações não lineares as variáveis não interagem de forma proporcional e são interdependentes. Um exemplo clássico se refere ao crescimento de populações. Quando os alimentos são abundantes, a população cresce exponencialmente e os alimentos se exaurem rapidamente, levando à saturação do crescimento da população.

Esta situação é exemplar em relação à disponibilidade dos meios necessários para manter a condição de crescimento.

Um regime caótico pode ser gerado como resultado de realimentações positivas que podem levar o sistema a reorganizar-se em outro nível de complexidade. Por exemplo, depois que as aplicações mais fáceis de uma tecnologia são obtidas, novas mudanças tornam-se progressivamente raras até saturar. Há necessidade de substituição e de destruição criativa, para poder dar continuidade aos processos de inovação/difusão.

Situações caóticas, na perspectiva da ciência, são geradas a partir de realimentações positivas, até que limites ou pontos de inflexão sejam atingidos. Rupturas podem ocorrer nos limites dos processos evolutivos - sempre que há restrições de recursos, realimentações positivas conduzem a pontos de ruptura. Isto ocorre nos mundos físico e biológico, bem como nos sistemas sociais, gerando bifurcações, que resultam em caos ou colapsos dos sistemas - desorganização seguida de organização, mas em outro estágio de complexidade.

A partir de jogos de poder, dominação e conflitos, que ocorrem nos ambientes sociais, há possibilidades de colapsos, mas também de manutenção de sua vitalidade. As interações humanas são mediadas nos ambientes sociais que envolvem éticas, convenções, histórias, educação, cultura, direitos, situação econômica e muitas outras influências que estabelecem relações de interdependência entre os sujeitos. Há possibilidade de realimentações circulares positivas entre as pessoas e o ambiente social, podendo gerar situações caóticas. Os sistemas humanos - organizações em geral, movimentos sociais, empresas, clubes partidos políticos - podem apresentar características de caos e não linearidades.

A equação logística normalmente é apresentada da seguinte forma:

$$X_{n+1} = AX_n(1 - X_n)$$

Demonstra-se numericamente que para $0 < A < 4$ ou igual, esta equação define uma família de mapas no intervalo $(0, 1)$. Bifurcações com períodos decrescentes ocorrem. Os valores para os quais se

obtem resultados caóticos estão situados entre 3,57 e 4,0.

Conclusões - nas situações de bifurcações é possível evoluir para uma dinâmica caótica, se trocas puderem ser feitas com o meio externo, ou para o colapso; se uma variável evolui segundo a curva logística, como é o caso de sistemas reais que apresentam recursos limitados, terá seu estoque esgotado, se não receber alimentação de fontes externas.

6. Sistemas discretos

Também de acordo com Johnson N.F, Jefferies, P e Ming Hui, P (2003), sistemas discretos no tempo ensejam maior complexidade e, portanto, mais riqueza de possibilidades que os contínuos de mesma dimensão. Os sistemas contínuos envolvem equações diferenciais cujas variáveis não apresentam grandes variações em intervalos de tempo muito pequenos - é necessária certa "suavidade". Portanto, não incluem a possibilidade de saltos ou rupturas bruscas em uma ou mais variáveis. Por exemplo, a introdução de uma mudança pode rapidamente transformar a dinâmica de funcionamento de um grupo acadêmico, objeto do interesse da pesquisa relatada por Carneiro (2006).

7. Outras análises

Há outros conjuntos de equações mais simples além das de Lorenz que também podem representar dinâmicas e processos caóticos. Basta que pelo menos uma das equações apresente não linearidade. Um exemplo clássico envolve as equações de Rössler apud Lorenz (1993, *op. cit*):

$$\begin{aligned} dx/dt &= -(y + z) \\ dy/dt &= x + \alpha y \\ dz/dt &= \alpha + xz - \mu z \end{aligned}$$

O sistema apresenta apenas um termo não linear e para valores de $\alpha = 0,2$ e $\mu y = 5,7$ produzem caos. As hipóteses anteriores podem também ser demonstradas para este sistema.

Assim, se for eliminada uma das variáveis, por exemplo, x, então o sistema

se reduz à:

$$\begin{aligned} dy/dt &= \alpha y \\ dz/dt &= \alpha - \mu z \end{aligned}$$

Ou se for eliminada a variável z ,

$$\begin{aligned} dx/dt &= -(y) \\ dy/dt &= x + \alpha y \end{aligned}$$

Nas duas situações acima os sistemas tornam-se lineares.

No terceiro caso, eliminando y resulta, $dx/dt = -(z)$ e $dz/dt = \alpha + xz - \mu y$ o que mantém não linearidade. Porém, neste caso, suponhamos que $dx/dt = 0$ (ponto estacionário), então, $z = 0$, $dz/dt = \alpha$ (constante), e, $d^2z/dt^2 = 0$; $d^2z/dt^2 = -dz/dt = -\alpha$, constante < 0 . Isto significa que z apresenta velocidade constante e decresce, tendo atingido seu máximo. A dinâmica não será mais complexa, conforme a hipótese. Assim, o sistema requer uma terceira variável ou processo para manter o caos, o que confirma a primeira hipótese. Por outro lado, nesta situação com o sistema completo,

$$\begin{aligned} dx/dt &= -(y + x) \\ dy/dt &= x + \alpha y \\ dz/dt &= \alpha + xz - \mu z \end{aligned}$$

Seja $dx/dt = 0$ (estacionário) então $dy/dt = -dz/dt$ e assim evoluem em direções opostas. Por outro lado, se $dy/dt = 0$ então, $x = -\alpha y$, o que dá no mesmo. Finalmente, se $dz/dt = 0$ então também $dy/dt = 0$ caso discutido acima. Portanto, também conforma a segunda hipótese, quanto à necessidade de um dos processos evoluírem em oposição aos demais.

8. Conclusões

Neste artigo foram apresentadas análises matemáticas que confirmam teoricamente as hipóteses intuitivamente assumidas por Carneiro (2006) na construção de uma metodologia de avaliação e constituição de grupos acadêmicos de alto desempenho:

- ♦ há necessidade de pelo menos três processos para obter dinâmica complexa, necessária para lograr alto desempenho;
- ♦ quando três processos interagem segundo dinâmicas complexas, duas variáveis atuam em sinergia e a outra varia em sentido contrário;
- ♦ quando uma das variáveis for muito depreciada, as outras duas também o serão levando os sistemas a pontos fixos;
- ♦ é possível considerar sistemas discretos para ensejar a possibilidade de "saltos discretos" no desempenho de grupos;
- ♦ os sistemas físicos, biológicos e sociais que dependem de recursos limitados funcionam, segundo a curva logística, podendo saturar, se os meios essenciais não forem repostos de fontes externas.

Referências Bibliográficas

CARNEIRO, A. *Metodologia de avaliação de grupos acadêmicos* – Projeto de Qualificação aprovado no Programa de Pós-graduação em Gestão do Conhecimento e da TI-PGCTI da UCB – Brasília - Jul. de 2006. Artigo encaminhado para publicação na revista Produção On line, aguardando aceitação.

ECHEVERRIA, R. *Ontología del lenguaje*. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones, 1994.

GOTTMAN, J. M. *What predicts divorce: the relationship between marital processes & marital outcomes*. Lawrence Earlbaum. New York, 1994.

HOCK, D. *Nascimento da era caórdica*. São Paulo: Cultrix, 1999.

JOHNSON Neil. F; JEFFERIES, Paul; MING HUI, Pak, - *Financial market complexity: what physics can tell us about market behaviour* - Oxford University Press, USA, sept. 4, 2003.

LORENZ, E. *A essência do caos* – Tradução de Cláudia Bentes David. Brasília: Editora UnB, 1996.

LOSADA, M. The complex dynamics of high performance teams. *Mathematical and computer modelling*, vol. 30, 1999. p. 179-192.

LOSADA, M. e HEAPHY, E. - The role of positivity and connectivity in the performance of business teams. *American Behavioral Scientist*, 1998.

ROCHA, I. *Gestão de organizações do conhecimento*. Brasília: Funadesp e Editora Universal, 2004.