

Adaptação, caos e cognição

Gustavo Maia Souza

Como citar: SOUZA, G. M. Adaptação, caos e cognição. *In:* GONZALEZ, M. E. Q.; DEL-MASSO, M. C. S.; PIQUEIRA, J. R. C. (org.). **Encontro com as Ciências Cognitivas - volume 3**. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2001. p. 71-78.
DOI: <https://doi.org/10.36311/2001.85-86738-19-0.p71-78>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

ADAPTAÇÃO, CAOS E COGNIÇÃO

Gustavo Maia SOUZA¹

Este pequeno ensaio tem como objetivo reforçar a idéia da adaptação de sistemas biológicos ao seu ambiente como um processo cognitivo elementar, e relacionar a este processo um comportamento não-periódico, possivelmente caótico, que tenderia a melhorar sua performance.

Sistemas biológicos são sistemas termodinamicamente abertos que otimizam o fluxo de energia útil em benefício próprio e dissipam energia não disponível para trabalho (entropia). Ao processo de aumento da quantidade de energia útil para o sistema, geralmente está associado um processo de aumento de complexidade mas, em alguns casos, pode ocorrer uma redução da complexidade do sistema ou de sub-sistemas. O aumento de complexidade, ou diversificação de elementos constituintes e/ou funções no sistema, acarreta um aumento da quantidade de informação organizada no sistema. A complexificação de um sistema biológico envolve uma organização espacial e temporalmente hierarquizada (aninhada) que torna a dissipação de entropia mais eficiente, assim como os processos de transformação de energia para a manutenção da vida. Estes processos são inerentemente processos auto-organizados, uma vez que todo o sistema biológico está imerso em um universo cujo ruído lhe exige constantes ajustes sem a supremacia de um controle externo a ele (SOUZA; MANZATTO, 2000).

Ambos os processos onto e filogenéticos dos sistemas biológicos estão intimamente relacionados a capacidade destes suportar as perturbações ambientais. Em outras palavras, a evolução dos sistemas biológicos é um constante adaptar-se ao ambiente exprimindo todo o potencial criativo da natureza através da criação de diferentes mecanismos e formas, que a própria natureza trata de selecionar, muitas vezes convergindo diferentes soluções. Neste contexto, o processo de seleção natural tem um papel secundário na evolução, apenas eliminando erros ou soluções inadequadas ou pouco eficientes. Cabe ao processo de adaptação e auto-organização desempenhar um papel fundamental na busca das melhores soluções de, em última análise, dissipar energia mais eficientemente e buscar a otimização dos processos de transformação de energia nos sistemas biológicos.

¹ Departamento de Ciências Biológicas. Laboratório de Plantas em Condições de Estresse. ESALQ/USP - Piracicaba - SP. E-mail: gumaia@ig.com.br

Adaptação e cognição

Basicamente, o processo de adaptação de um sistema biológico às flutuações de seu meio circunvizinho envolve as seguintes etapas: a) percepção da flutuação, b) processamento de uma resposta, c) implementação da resposta, e d) armazenamento ou não do padrão de resposta emitido.

A etapa de percepção do ambiente envolve as estruturas do sistema biológico que possuem algum tipo de fluxo informacional com seu ambiente, esta é a região de fronteira entre o sistema e seu meio. Evidentemente, uma determinada flutuação ambiental só é percebida se o sistema em questão possuir as estruturas (sensores) necessárias para tal, assim nem todas as flutuações ambientais são percebidas por todos os sistemas biológicos, e nem todas as oscilações são percebidas da mesma maneira. Os sentidos como a visão, por exemplo, são muito diferentes entre o ser humano e uma planária, o primeiro percebe um espectro de luz que varia do vermelho ao azul possibilitando ver muitas combinações de cores, o segundo percebe apenas claro e escuro. O processamento de uma resposta geralmente envolve vários níveis da organização hierárquica em um sistema biológico. Por exemplo, a resposta a extremos de temperatura envolve a ativação de um conjunto gênico específico que expressa uma família de proteínas, que por sua vez provocam alterações fisiológicas em um nível superior de organização. Algumas vezes, o tipo de resposta emitida pode não apenas trazer modificações para o sistema, como também alterar o próprio meio. E isto é o que provavelmente aconteceu no início da formação da vida em nosso planeta, com as bactérias modificando a composição química da atmosfera que propiciou uma explosão de vida na Terra. Uma vez emitida uma determinada resposta, o processo pelo qual ela foi gerada pode ser incorporado ao sistema, como ocorre normalmente com as respostas emitidas pelo nosso sistema imunológico.

Estas etapas se relacionam diretamente a um processo cognitivo básico constituído pela percepção de alguma informação, processamento desta informação e resposta imediata e/ou futura, envolvendo aprendizagem. Neste sentido, podemos relacionar o processo de adaptação existente em qualquer nível de vida a um processo básico de aprendizagem, sem emissão de juízos ou envolver processos relacionados a uma mente consciente.

Tal abordagem encontra eco nas idéias de Humberto Maturana, que cunhou o termo *autopoiese*, isto é, a propriedade de um ser vivo especificar suas próprias leis, aquilo que lhes é próprio, onde o ambiente tem o papel de desencadear as mudanças estruturais nas unidades autopoieticas (SOUZA, 1998). Este campo também tem sido objeto de interesse da biossemiótica (HOFFMEYER, 1997).

Segundo Arhem e Liljenström (1997), aprendizado, conhecimento e solução de problemas, em um sentido amplo, emergiram na Terra com a origem da vida. Nesta perspectiva, aprendizagem e conhecimento não são necessariamente mediados por um sistema nervoso, entretanto, um sistema nervoso aumenta a velocidade e a abrangência do aprendizado, bem como a flexibilidade na interação com o ambiente. Estes autores sugerem que o processo de aprendizagem via sistema nervoso e o processo independente da existência de neurônios basicamente são uma combinação de processos estocásticos e de seleção, mais que de processos de instrução repetitiva. Entretanto, a cognição consciente difere da cognição inconsciente, estando a primeira associada com a experiência subjetiva.

Um ambiente qualquer onde está imerso um sistema biológico possui uma quantidade muito grande de variáveis, como luz, temperatura, umidade, gradientes químicos, que oscilam constantemente, hora de maneira sutil hora de maneira brusca. Mas uma coisa parece certa, por mais que um ambiente possa ser controlado sempre apresentará mínimas variações de seus elementos constituintes. Portanto, o ambiente sempre está exigindo algum tipo de resposta dos sistemas biológicos, e cabe a eles aprender a lidar com isto ou perecer.

Neste contexto, parece razoável supor que, para adaptar-se ao ambiente mantendo uma certa estabilidade organizacional, os sistemas vivos também devam se comportar ou possuir mecanismos de ajustes constantes e certamente não-lineares em função da quantidade de elementos envolvidos em sua relação com o meio externo e à ação de mecanismos de feedback. De fato, provavelmente estes comportamentos de adaptação e aprendizagem devem possuir um comportamento não-periódico, uma vez que as variáveis ambientes dificilmente modificam-se de modo periódico.

Muitos estudos com diferentes sistemas biológicos, de enzimas à ecossistemas, determinaram a ocorrência de comportamentos caóticos (MAY, 1989; MOSEKILD; MOSEKILD, 1991; STONE; EZRATI, 1996). A questão que surge diante destes fatos é: Qual seria a vantagem para os sistemas vivos apresentarem dinâmicas caóticas? Porque elas deveriam ocorrer? Provavelmente, não deve ser um acidente da evolução e muito menos algo prejudicial, afinal, os sistemas aqui apresentados possuem milhares de anos de evolução. Por exemplo, um comportamento errático do coração em recém nascidos está mais associado com saúde do que um comportamento regular. O mesmo pode ser observado em relação a distúrbios neurofisiológicos, que estão relacionados à uma menor variabilidade de comportamentos (ÇAMBEL, 1993).

Cada vez mais, a medida que novos sistemas são analisados sob a luz da teoria do caos, percebe-se que uma dinâmica caótica parece

ser a regra muito mais que dinâmicas menos complexas. Parece que muitos processos psicológicos apresentam um comportamento que se repete exatamente mas não é previsível em detalhes, isto é, os processos psicológicos parecem ter componentes estacionários cuja previsibilidade exata de ocorrência reduz-se dramaticamente com o passar do tempo. Assim, possivelmente tratam-se de processos não-lineares modelados por um atrator caótico (GOERNER; COMBS, 1998).

Isto tudo sugere que os sistemas biológicos estão intimamente acoplados ao seu meio, como em uma dança cósmica com alguns passos imprevisíveis.

Entretanto, é importante definirmos precisamente o que estamos chamando de caótico. Certamente não é no sentido do senso comum, como algo absolutamente desordenado e confuso.

Caos determinístico

Como vimos anteriormente, sistemas biológicos possuem uma dinâmica não-linear que pode levar o sistema a estados caóticos.

Um comportamento caótico pode ser caracterizado por apresentar (ÇAMBEL, 1993; FIEDLER-FERRARA; PRADO, 1994; WILLIAMS, 1997):

- a) imprevisibilidade, isto é, o conhecimento do estado do sistema durante um tempo arbitrariamente longo não permite predizer, de maneira imediata, sua evolução posterior. A imprevisibilidade está associada à sensibilidade às condições iniciais (efeito borboleta);
- b) espectro contínuo (Fourier) de frequências dos estados, caracterizando um comportamento aperiódico;
- c) atrator com dimensão fractal;
- d) estacionaridade, isto é, embora aperiódicamente, os padrões tendem a repetir.

Diferentemente, a evolução de um processo estocástico não é determinística. Num processo regular (periódico) pontos inicialmente próximos continuam assim ao longo da trajetória, nenhuma informação adicional é produzida. Consequentemente, deve-se esperar uma entropia associada (entropia de Kolmogorov-Sinai, ou entropia K) nula, isto é, $K = 0$. Já em um processo aleatório (estocástico ou randômico), pontos inicialmente próximos são distribuídos com igual probabilidade para qualquer nova posição consistente com o sistema. Assim, existe geração de informação assintoticamente infinita no sistema, ou seja, $K \rightarrow \infty$. Para processos caóti-

cos, devido à SCI, pontos inicialmente adjacentes separam-se exponencialmente com a evolução temporal. Existe geração de informação no sistema e a entropia é finita e positiva, isto é, $0 < K \leq \sum \lambda_i$, $\lambda_i > 0$, onde os λ_i são os expoentes de Lyapunov positivos, assim, $K = \sum \lambda_i$, $\lambda_i > 0$. Vale enfatizar que a existência de uma entropia K positiva e finita é condição suficiente para a existência de caos determinístico (FIEDLER-FERRARA; PRA-DO, 1994).

Uma analogia: simulação com o jogo da vida

Para ilustrar melhor a idéia de que uma dinâmica não periódica pode ser mais favorável a sobrevivência e adaptação de um dado sistema, incorporando ruídos, tomamos como exemplo uma analogia realizada em um autônomo celular mostrando o que acontece quando um sistema periódico sofre uma perturbação, e o que acontece quando um sistema não periódico sofre uma mesma perturbação.

Utilizamos um simples autômato conhecido como LIFE-3000, que implementa uma versão para Windows do Jogo da Vida de John Conway. Em um látice 40×40 , simulamos um sistema periódico com 144 células iniciais vivas. Representando um ruído externo, ao autômato inicial foi adicionado uma única célula em um local aleatório, adjacente a outras células vivas. Logo a partir das primeiras iterações, a dinâmica periódica inicial foi sensivelmente modificada (Figura 1) e não se recuperou ao final da simulação. Quando o mesmo foi feito com um sistema inicialmente não-periódico, com o mesmo conjunto de regras, tamanho de látice e população inicial, o ruído adicionado ao sistema não alterou o comportamento geral do sistema (Figura 2).

Esta simples simulação nos sugere que uma dinâmica não-periódica pode ser mais apropriada para um determinado sistema manter-se estável em um ambiente que lhe impõe um ruído externo. Isto é, um sistema 'dançando' harmoniosamente como seu ambiente poderia ter maiores chances de adaptar-se a ele, em outras palavras, aprender a conviver com seu meio através de uma organização flexível.

Entretanto, este resultado é apenas válido para esta simulação, com as condições específicas aqui utilizadas. Caso as regras do jogo e as condições iniciais fossem alteradas, os resultados seriam imprevisíveis. Inclusive havendo a possibilidade de sistemas periódicos serem mais eficientes em suportar perturbações. Evidentemente, na natureza, tudo isto é ainda muito mais complexo, havendo uma infinidade de tipos de sistemas coexistindo, inclusive sub-sistemas de diferentes dinâmicas em um mesmo sistema.

FIGURA 1 - FFT de a) sinal periódico simulado inicial, e b) com adição de ruído.

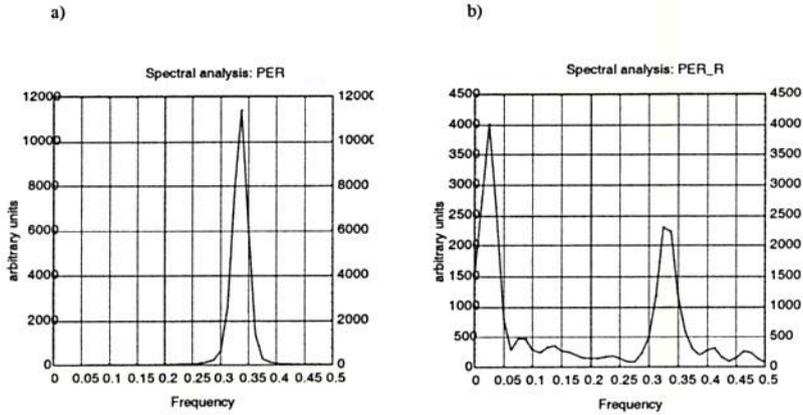
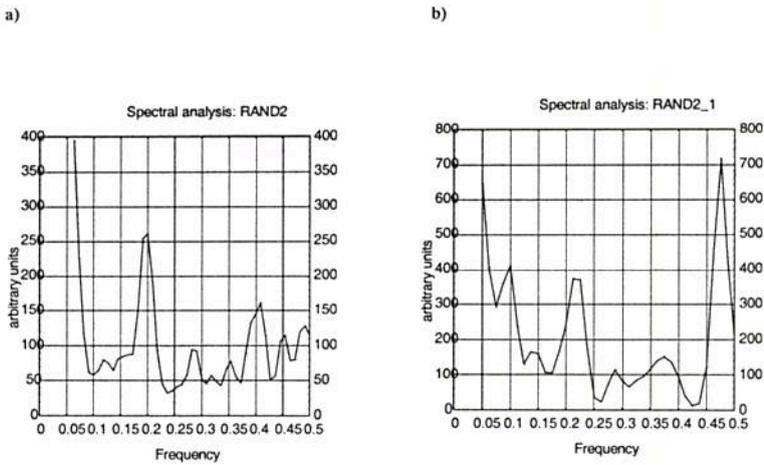


FIGURA 2 - FFT de a) sinal não-periódico simulado inicial, e b) com adição de ruído.



Considerações finais

O fato do processo cognitivo elementar nos sistemas biológicos poder estar associado com comportamentos caóticos lhe confere uma maior flexibilidade para possibilitar um aumento de sua estabilidade no ambiente otimizando o processo de incorporação do ruído externo.

Subjacente a esta relação, que nos referimos como uma dança harmoniosa entre os sistemas biológicos e seu meio, parece haver um padrão de comportamento associado a uma lei do expoente, onde grandes respostas são menos frequentes que pequenas respostas. Este comportamento é conhecido como criticalidade auto-organizada. Para um sistema crítico, a mesma perturbação aplicada em diferentes posições ou na mesma posição em diferentes tempos pode levar a respostas de todos os tamanhos, obedecendo uma distribuição do tipo $P_{(s)} \sim s^{-b}$ (BAK, 1996, JENSEN, 1998). Este tipo de relação é mais conhecida como ruído $1/f$. Os dados de Gilden et al. (1995) obtidos com os erros de uma pessoa quando tenta produzir de memória um dado intervalo espacial ou temporal exibiu uma relação do tipo $1/f$. Isto, segundo os autores, sugere a possibilidade de que a cognição possua organizações formais ou fisiológicas que são comuns à dinâmica de sistemas complexos.

Referências

- ÁRHEM, P.; LILJENSTRÖM, H. On the coevolution of cognition and consciousness. *Journal of Theoretical Biology*, v. 187, p. 601-612, 1997.
- BAK, P. *How nature works: the science of self-organized criticality*. New York: Springer-Verlag, 1996.
- ÇAMBEL, A. B. *Applied chaos theory*. Boston: Academic Press, 1993.
- FIEDLER-FERRARA, N.; PRADO, C. P. C. *Caos: uma introdução*. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.
- GILDEN, D. L.; THORNTON, T.; MALLON, M. W. $1/f$ noise in human cognition. *Science*, v. 267, p. 1837-1839, 1995.
- GOERNER, S.; COMBS, A. Consciousness as a self-organizing process: an ecological perspective. *BioSystems*, v. 46, p. 123-127, 1998.
- HOFFMEYER, J. Biosemiotics: towards a new synthesis in biology. *European Journal for Semiotics Studies*, v. 9, n. 2, p. 355-376, 1997.
- JENSEN, H. J. *Self-organized criticality: emergent complex behaviour in physical and biological systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- MAY, R. The chaotic rhythms of life. *New Scientist*, v. 124, p. 21-25, 1989.
- MOSEKILD, E.; MOSEKILD, L. (Org.) *Complexity, chaos, and biological evolution*. New York: Plenum Press, 1991, Series B: Physics v. 270.

SOUZA, G. M. A natureza das formas biológicas: a auto-organização e a cognição formadoras. In: GONZALEZ, M. E. Q.; BROENS, M. C. (Org.). *Encontro com as ciências cognitivas*. Marília: Unesp-Marília-Publicações, 1998. v.2. p. 49-67.

SOUZA, G. M.; MANZATTO, A. G. Hierarquia auto-organizada em sistemas biológicos. In: D'OTTAVIANO, I. M. L.; GONZALEZ, M. E. Q. *Auto-organização*. Campinas: UNICAMP, p. 153-173, 2000. (Coleção CLE, v. 30).

STONE, L.; EZRATIS, S. Chaos, dynamics in plant ecology. *Journal of Ecology*, v. 84, p. 279-291, 1996.

WILLIAMS, G. P. *Chaos theory tamed*. Washington, D.C: Joseph Henry Press, 1997.