

**INSTITUTO DE PESQUISA APLICADA EM DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO  
SUSTENTÁVEL – IPADES**

*Francisco Barbosa*

Sócio Presidente – IPADES

**ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPLEXOS**

Em que sentido terremotos, incêndios florestais, extinções de espécies e *crashes* de bolsas de valores são eventos similares? Todos esses eventos podem ser grandes flutuações que surgem universalmente em sistemas que se encontram fora do equilíbrio em um estado crítico. A organização destes sistemas não depende da natureza precisa das coisas envolvidas, mas somente da maneira como as influências se propagam de um lugar a outro. Aqui, eventos raros surgem a partir do mero acúmulo e posterior liberação de estresse.

Assim como é tentador buscar grandes causas por trás de terríveis terremotos ou extinções em massa, é também tentador buscar grandes pessoas por trás dos grandes eventos históricos. Entretanto é possível que a única causa geral para tais eventos seja a organização interna de um estado crítico, que faz com que eventos raros sejam não apenas possíveis, mas inevitáveis. Os fundamentos de um estado crítico refletem-se em leis estatísticas simples: leis de potência que não possuem escala característica, revelando a ausência de um “tamanho” esperado para o próximo evento.

A descoberta de leis universais em sistemas físicos levantou a hipótese da existência de leis universais em sistemas biológicos, sociais e econômicos e deu origem à Física dos Sistemas Complexos. Pode-se dizer que é a fronteira entre a ordem e o caos. Dessa base teórica surgiu a Engenharia de Sistemas Complexos.

Dois revoluções nas ciências formaram as bases para a Engenharia de Sistemas Complexos. A primeira foi o trabalho do físico e químico Ilya Prigogine, que trabalhou a termodinâmica dos processos reversíveis, formulando a teoria das estruturas dissipativas. Seu trabalho mostrou que, fora do equilíbrio, as equações que regem a Física são irreversíveis. Ele recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1977. A

segunda revolução foi a teoria da geometria fractal do matemático Benoît Mandelbrot, que supera limitações da geometria euclidiana.

E o que seria mais exatamente esta Engenharia de Sistemas Complexos? Ela deve consistir no domínio das características práticas dos sistemas complexos feitos de muitos elementos relativamente simples interconectados em geometrias freqüentemente hierárquicas, fractais, irregulares. O comportamento coletivo de tais sistemas, suas estruturas e dinâmicas sofisticadas originam-se em elementos que interagem através de dinâmicas de grande simplicidade. É na interminável repetição, nos grandes números, que nascem os fenômenos macroscópicos que o homem observa e nos quais está imerso. É isto que ocorre nas complexas dinâmicas ecológicas, nos desastres naturais, como tsunamis, terremotos, furacões, na complexa evolução de nosso meio ambiente, nas profundas modificações que o homem, querendo ou sem querer, vai provocando na fauna e na flora, na agricultura. É assim também no plasma do vento solar, intensamente estudado pela NASA, ESA, e outros organismos internacionais, acompanhados pelas Nações Unidas.

É isto que ocorre na evolução das línguas e das culturas, e dos mercados, na camada de ozônio, nos surtos epidêmicos da doença de Chagas, da dengue, da tuberculose. É isto que ocorre nas turbulências da nossa atmosfera, e na das galáxias, e das multidões, e da fusão nuclear, que talvez venha a representar uma das mais importantes fontes de energia para uso humano para nossos filhos, nossos netos. É talvez isto que ocorra nas profundezas das sopas de quarks e glúons que se formam após as formidáveis colisões entre prótons, e outras partículas elementares, que são provocadas no poderoso LHC em Genebra, ou em Brookhaven, nos Estados Unidos, ou nos fluxos de raios cósmicos, observados pelo observatório Auger. Todas essas manifestações da natureza, dos sistemas artificiais e dos sistemas sociais têm surpreendentes elementos em comum. É isto que estuda a ciência dos sistemas complexos, no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Complexos, criado três anos atrás e congregando atividades de 36 cientistas de 18 instituições do Brasil.

E qual é o foco proposto para uma Engenharia de Sistemas Complexos? As aplicações práticas desses conceitos no processamento de sinais (eletrocardiogramas, eletroencefalogramas, temperaturas de El Niño, perfis ao longo dos acessos a reservatórios de petróleo), no processamento de imagens (de mamografias, de tomografia computadorizada, de visão noturna, das placas – ocasionalmente sujas, ou

enferrujadas – dos carros que atravessam sinais em vermelho ou que viajam a velocidades proibidas), da classificação automática de centenas e milhares de células normais ou cancerosas. As aplicações práticas para a otimização das rápidas e numerosíssimas operações financeiras do mundo de hoje, dos algoritmos computacionais que regulam procedimentos de praxe nas indústrias química e farmacêutica, do tráfego de sinais na internet e outras redes computacionais, e no de carros e motocicletas nas grandes cidades. A lista é simplesmente interminável.

Pode-se também entender a Engenharia de Sistemas Complexos como uma engenharia de sistemas de sistemas. O que já existe é a engenharia de sistemas, que é aplicada em logística, em transporte e em sistemas construtivos, entre outras áreas. O que não existe é uma engenharia de sistemas que interagem entre si e que são complexos. Ela se aplica não só a materiais, mas, em operações financeiras e no agronegócio, por exemplo, em que há uma série de problemas que as influenciam. Na agropecuária há o problema do solo, de defensivos e insumos agrícolas, de estocagem e transporte, por exemplo, para que toda a produção da região Centro-Oeste do Brasil seja exportada, ou a produção agropecuária e florestal da Amazônia seja intensificada.

A produção agropecuária, florestal, pesqueira e mineral, riquezas da Amazônia é uma somatória de sistemas complexos. Não há como desenvolver a produção sustentável sem o entendimento da sua ecologia, por si só um sistema complexo. O que dizer do aproveitamento econômico e sustentável de sua biodiversidade? E o aproveitamento energético de sua imensa hidrografia? O desenvolvimento deste imenso território nacional depende do conhecimento de sistemas complexos.

São sistemas que envolvem muitas variáveis. E isso pode se agravar se a interação entre essas variáveis for não linear. Por exemplo, no agronegócio, se dobrar a produção de milho, se quadruplicar o preço do transporte do sistema logístico frente às dificuldades das estradas brasileiras, aí aparecem às chamadas não linearidades. Então, quando se tem um sistema complexo, as variáveis podem interagir não linearmente. Elas podem se multiplicar até exponencialmente.

O Brasil está muito atrasado nesse assunto. Já os Estados Unidos de destacam com o New England Complex Systems Institute (NECSI), uma parceria entre várias instituições, como Massachusetts Institute of Technology (MIT), e as universidades de Harvard e Brandeis, organizada com o objetivo de formar recursos

humanos e fazer atividades de pesquisa e desenvolvimento em Engenharia de Sistemas Complexos. Este ano estão realizando seu oitavo congresso de Engenharia de Sistemas Complexos. O primeiro foi feito em 1997.

Apesar do atraso brasileiro no assunto, algumas iniciativas nacionais recentes, como de dois Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI): o INCT de Sistemas Complexos e o INCT de Matemática, que tem projetos nessa área. Há também um grupo de trabalho no Instituto de Estudos Avançados (IEA-USP) de São Carlos, que está se articulando com iniciativas internacionais, e o Instituto de Estudos da Complexidade (IEC).

O IEA-USP de São Carlos, criado em 2008, pelo professor Sérgio Mascarenhas juntamente com o professor do Instituto de Química da USP de São Carlos Hamilton Brandão Varela de Albuquerque e a professora do Instituto de Física Yvonne Primerano Mascarenhas vem contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas nessa área no país.

Mais uma vez, desde quando patrocinou a criação da Engenharia de Materiais em São Carlos e o Departamento de Física de Recife, ou quando, durante um seminário na UnB, 35 anos atrás, o físico Sérgio Mascarenhas disse: *“Nos países subdesenvolvidos, temos que estar sempre atentos, pois até quando a gente tem razão dizem que a gente está errada”*, Sérgio Mascarenhas está coberto de razão.