

# **Glossário de Dinâmica Não-Linear**

**Dr. Fernando Portela Câmara, MD, PhD**  
**Coordenador do Depto. Informática da ABP**  
**(2004-2007)**

## **Atrator**

O estado no qual um sistema dinâmico eventualmente se estabiliza. Um atrator é um conjunto de valores no espaço de fase para o qual o sistema migra com o tempo (se função contínua) ou por iterações (se função discreta). Um atrator pode ser um único ponto-fixo, uma coleção de pontos regularmente visitados, uma alça, uma órbita complexa, ou um número infinito de pontos. Ele não precisa ser uni- ou bidimensional, e pode ter tantas dimensões quanto o número de variáveis que influenciam o seu sistema.

## **Auto-similaridade**

Um conjunto infinito de estruturas que se repetem em escalas sucessivas umas dentro das outras. Auto-similaridade estrita refere-se à uma sub-estrutura de uma forma que lembra a superestrutura da mesma.

## **Bacia de atração**

Uma região no espaço fase associada a um atrator. A bacia de atração é o conjunto de todos os pontos de partida (valores iniciais) que convergem para o atrator.

## **Bifurcação**

Uma mudança qualitativa no comportamento (i. e., atrator) de um sistema dinâmico associado a uma mudança no parâmetro de controle. É um salto qualitativo que progride para dinâmicas mais complexas.

## **Caos**

Comportamento de (a) um sistema dinâmico que tem um grande número de atratores (possibilidade infinita) e (b) é sensível às variações mínimas nas condições iniciais ou de partida do sistema dinâmico. É uma propriedade da dinâmica não linear.

## **Campo vetorial**

Conjunto de todos os vetores no espaço fase de um sistema dinâmico. Para um sistema contínuo, o campo vetorial é especificado por seu conjunto de equações diferenciais.

## **Ciclo limite**

Atrator que é periódico no tempo, isto é, que cicla periodicamente em uma seqüência ordenada de estados.

## **Complexidade**

Enquanto caos é o estudo de como sistemas simples podem gerar comportamento complicado, complexidade é o estudo de como sistemas complicados podem gerar comportamento simples.

Um exemplo de complexidade é a sincronização de sistemas biológicos, de vagalumes a neurônios.

### **Condição inicial**

Valores iniciais ou de partida de um sistema dinâmico.

### **Diagrama de bifurcação,**

Resumo visual (gráfico) da sucessão de períodos de duplicação produzida quando o parâmetro de controle é modificado progressivamente.

### **Diferença, equação**

Função que especifica a variação de uma variável em intervalos discretos de tempo.

### **Diferencial, equação**

Função que especifica a taxa de variação de uma variável contínua em função da variação de outra variável (mais comumente o tempo).

### **Dimensões de um sistema**

Conjunto de variáveis de um sistema.

### **Dimensão embutida**

N-conjuntos sucessivos de pontos tratados como pontos em espaço N dimensional numa série temporal. Os pontos são ditos residirem em dimensões embutidas de tamanho  $N = 1, 2, 3, 4, \dots$  etc.

### **Dimensão fractal**

Medida de um objeto geométrico que pode assumir valores fracionários. Inicialmente foi usada como sinônimo de dimensão de Hausdorff, mas hoje é usada como termo geral para medidas de quão rápido um comprimento, uma área ou um volume aumenta com a diminuição da escala de medida.

### **Dimensão de Hausdorff**

Medida de um objeto geométrico que pode assumir valores fracionários (v. dimensão fractal).

### **Estado**

Ponto no espaço fase que representa a localização atual (status) de um sistema dinâmico.

### **Espaço de fase**

Espaço abstrato onde se representa o comportamento de um sistema, e cujas dimensões são as variáveis do sistema. Deste modo, um ponto no espaço fase define um estado potencial do sistema. Os pontos que sucessivamente especificam o estado de um sistema dependem da função iterativa deste e das condições iniciais (pontos de partida).

### **Estranho, atrator,**

Atrator de N-pontos onde  $N \rightarrow \infty$ . Geralmente ou talvez sempre auto-similar (fractal) em forma.

## **Fractal**

Forma irregular dotada de auto-similaridade. Ela tem infinitos detalhes e não pode ser diferenciada. "aonde quer que caos, turbulência e desordem sejam encontrados, a geometria fractal está ali" (Briggs and Peat, 1989).

## **Função iterativa**

Função usada para calcular o estado de um sistema dinâmico a cada intervalo de tempo.

## **Função linear**

Equação da reta. Uma equação linear tem a forma  $y = mx + b$ , na qual  $y$  varia "linearmente" com  $x$ . Nesta equação,  $m$  determina a inclinação da linha e  $b$  reflete o valor de  $y$  quando  $x = 0$ .

## **Função não-linear**

Quando  $y$  é uma função não linear de  $x$ , se  $x$  é multiplicado por outra variável (não constante) ou por si mesmo (isto é, por algum expoente).

## **Iteração**

Aplicação repetida de uma função usando o resultado (output) de uma como valor de entrada (input) para a seguinte.

## **Logística, equação diferença**

v. mapa logístico.

## **Lorenz, atrator**

Um estranho atrator em forma de borboleta. Ele se origina de um modelo meteorológico desenvolvido por Edward Lorenz com três equações diferenciais de três variáveis. Foi um dos primeiros estranhos atratores estudados.

## **Lyapunov, coeficiente**

(ou número de Liapunov). Valor de um expoente, um coeficiente de tempo que reflete a razão de afastamento de órbitas dinâmicas. É uma medida de sensibilidade às condições iniciais, portanto, um indicador de caos.

## **Mapa de retorno**

Gráfico dos valores  $n$  vs.  $n+1$  de uma série temporal.

## **Mapa logístico**

$x(n+1) = rx(n)[1 - x(n)]$ . Uma função parabólica côncava para baixo com  $0 < r < 1$ .

## **Não-linear, dinâmica**

Estudo dos sistemas dinâmicos cujas funções especificando variação não são lineares.

## **Órbita (trajetória)**

Seqüência de posições (via) de um sistema em seu espaço fase.

### **Parâmetro de controle**

Parâmetro nas equações de um sistema dinâmico. Se é permitido a um parâmetro de controle mudar, a dinâmica do sistema também mudará, e mudanças além de certos valores podem levar a bifurcações.

### **Partida, estado ou ponto**

v. condições iniciais.

### **Período de duplicação**

Variação na dinâmica onde um N-ponto atrator é substituído por um 2N-ponto atrator.

### **Pontos limite**

Pontos no espaço fase. Há três tipos deles: atratores, repulsores, e pontos selas. Um sistema move-se para longe de um repulsor e na direção de um atrator. Um ponto sela é atrator e repulsor ao mesmo tempo, segundo a região em que o sistema se encontra.

### **Recursivo, processo**

O mesmo que processo iterativo.

### **Registro fase (phase portrait)**

Coleção de todas as trajetórias que partem de todos os pontos possíveis no espaço fase de um sistema dinâmico.

### **Repulsores**

Tipo de ponto limite. Ponto no espaço fase de onde um sistema se afasta como se fosse repellido.

### **Sela, ponto**

Um ponto, geralmente em um espaço tridimensional, onde ocorre tanto atração quanto repulsão, segundo a posição em que se encontra.

### **Sensibilidade às condições iniciais**

Propriedade característica dos sistemas caóticos. Um sistema dinâmico apresenta sensibilidade às condições iniciais quando variações muito pequenas nos valores de partida resultam em comportamentos muito diferentes. Se as órbitas de pontos de partida muito próximos divergem, o sistema tem sensibilidade às condições iniciais.

### **Série temporal**

Um conjunto de medidas de valores de uma variável em função do tempo.

### **Sistema complexo**

Spatially and/or temporally extended nonlinear systems characterized by collective properties associated with the system as a whole--and that are different from the characteristic behaviors of the constituent parts.

### **Sistema dinâmico**

Conjunto de equações que especificam como certas variáveis mudam com o tempo. As equações especificam como determinar (computar) os novos valores como uma função de seus correntes valores e parâmetros de controle. As funções, quando explícitas, podem ser contínuas ou discretas. Os sistemas dinâmicos podem ser estocásticos ou determinísticos; nos sistemas estocásticos, os valores originam-se de uma distribuição de probabilidades, enquanto nos sistemas determinísticos, os valores estão associado aos valores especificados.

### **Sistema iterativo**

Sistema no qual uma ou mais funções são iteradas para definir o sistema.

### **Toro, atrator**

Um atrator consistindo de N oscilações independentes. Plotado no espaço de fase, resulta num toro que lembra uma rosquinha.

### **Trajectoria (órbita)**

Uma seqüência de posições (vias) de um sistema em seu espaço fase: a via desde o seu ponto de partida (condição inicial) para e dentro de seu atrator.

### **Vetor**

Uma medida de dois valores associada com um ponto no espaço de fase de um sistema dinâmico. Sua direção mostra para onde evolui o sistema desde o ponto atual e seu comprimento indica sua velocidade.