

# Caos e complexidade

Tertúlia de 3 de fevereiro do Clube  
Ateneu do Conselho de Cultura da  
Universidade da Madeira

# Ressalva

Sistemas complexos e sistemas caóticos têm génese e algumas propriedades diferentes.

Nesta tertúlia, enfatizando as semelhanças de comportamento e, para simplificar, falo no que têm em comum.

# Definições de CAOS

A **Imprevisibilidade** do comportamento de um sistema complexo natural

*Webster Dictionary*

*Matematicamente*

A Ciência de prever o Comportamento de sistemas **inerentemente imprevisíveis**

# Matematicamente...

É uma ferramenta que permite extrair **estruturas ordenadas**, de **grande beleza**, de um mar de complexidade.

Se posso extrair estruturas ordenadas, a noção trivial de caos, ligada à confusão e à desordem, não é a dos matemáticos.



# Como se comporta o mundo real?

- Sistemas determinísticos.
- Sistemas aleatórios.
- **Sistemas caóticos/complexos** que *aparentemente* se comportam **como aleatórios** mas que, se os estudarmos convenientemente, *enceram uma lei* **determinística** forte.

# Ponto da situação:

A partir de agora Caos não é **desordem** é **ordem escondida**.

Ordem e caos **não são** diametralmente opostos.

Os sistemas caóticos são uma **mistura íntima** de caos e ordem.

Por fora, numa imagem macro, mostram-se imprevisíveis. Por dentro, numa análise micro, encontramos determinismo perfeito.

Em 1991 no seu livro *Introdução ao pensamento complexo* Edgar Morin diz:

*...“Eu pretendia mostrar que estes erros, ignorâncias, cegueiras, perigos têm um carácter comum que resulta de um modo mutilador de organização do conhecimento, incapaz de reconhecer e apreender a complexidade do real”....*



# Como pode a ordem na pequena escala produzir caos na grande escala?

Três atributos que os caracterizam:

As borboletas fazem toda a diferença.

Os atractores fascinam.

A rotina é a queda em cascata.

# As borboletas fazem toda a diferença

## Sensibilidade às Condições Iniciais

Pequenas variações produzem  
irrepetíveis e enormes efeitos ao  
longo do tempo

# Lorentz

A faint, red-tinted Lorenz attractor is visible in the background of the slide, centered behind the text.

Descobriu por sorte que o cálculo do sistema de previsão meteorológica que partiu de 0,506 em vez de 0,506127 apresentava enormes diferenças que aumentavam drasticamente com a distância em dias onde se queria calcular o sistema.

0,0001 de diferença = a uma milésima parte =  
ao período do bater das asas de uma borboleta

# Lenine

Mecanicista, diz:

A economia pode ser planeada e controlada  
como uma estação de correio

# Ponto da situação:

O que no sistema caótico parece aleatoriedade, é determinístico, e parece aleatoriedade porque mudanças mínimas no mundo real fazem toda a diferença no seu comportamento.

Estes sistemas devem estar permanentemente **debaixo de olho** porque ao longo do tempo mudam **radicalmente**.

Para os controlarmos, temos de os **monitorizar**, ou seja, acompanhar de perto, para corrigir a sua trajetória e prever no curto prazo, num pequena espaço de tempo depois do instante presente, o que vai acontecer. Fora deste intervalo são praticamente imprevisíveis

E, à nossa volta, hoje, tudo muda rapidamente

# Exemplo

A geração nova é proporcional à geração anterior

$$g_{t+1} = ag_t$$

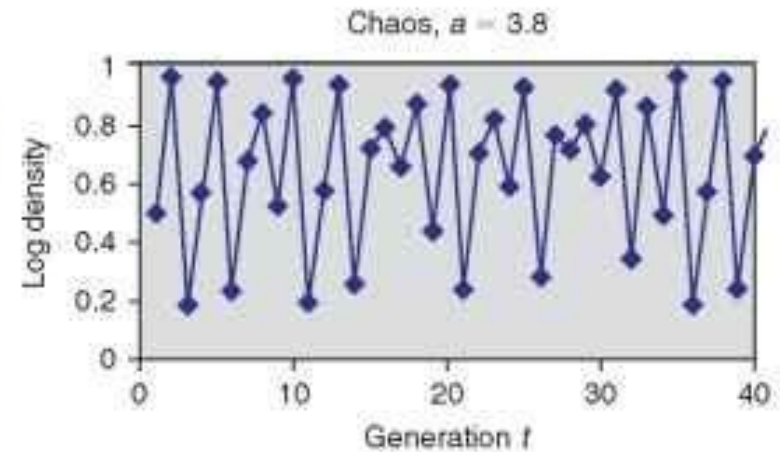
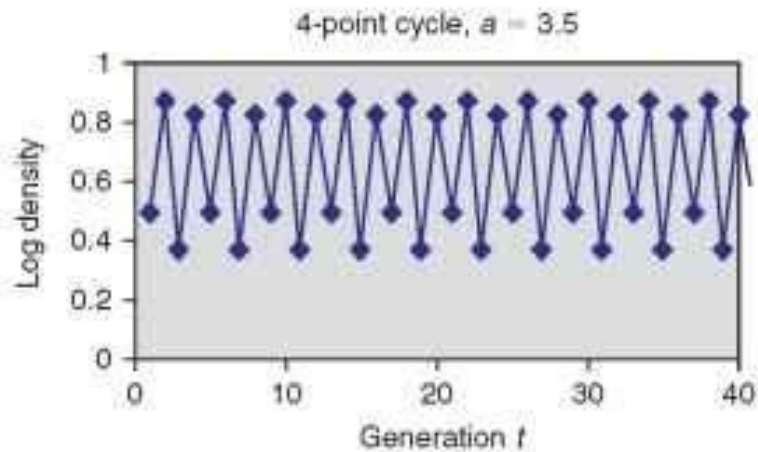
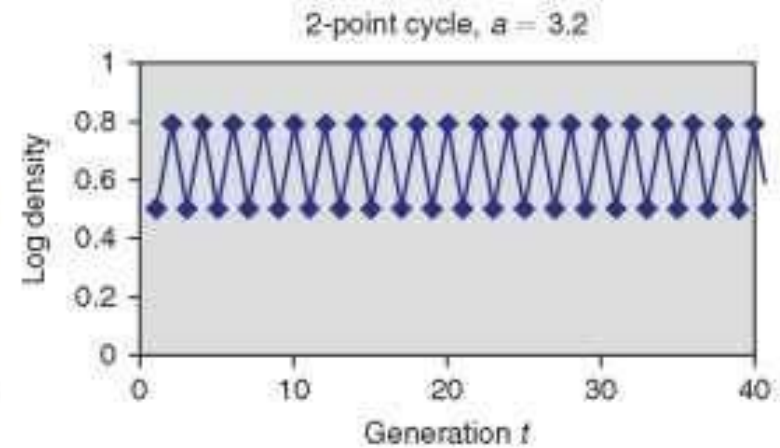
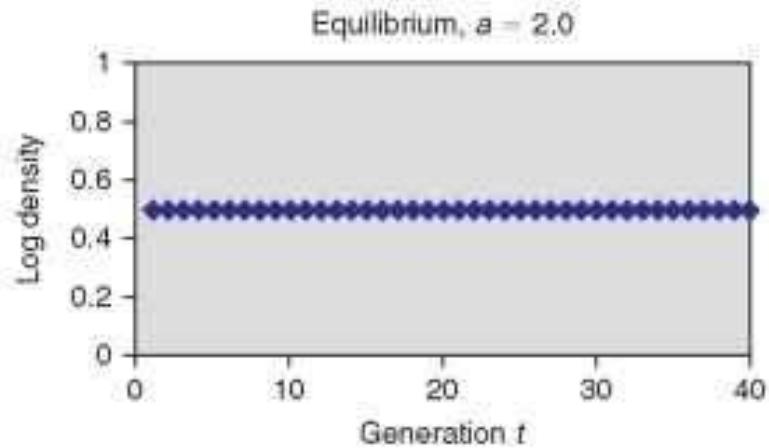
a é a taxa de fertilidade.

Se estamos num ambiente de recursos limitados, há competição e temos de diminuir na geração nova os que não sobrevivem.

$$g_{t+1} = ag_t - cg_t^2$$

indivíduos da geração anterior que devido à taxa c de competição não sobrevivem

# Exemplo



# Parece então que a solução é procurar Estabilidade.

- Será?



Se não podes lutar contra a instabilidade junta-te a ela e usa-a para conseguir a possibilidade de fazer evoluir o sistema da forma que pretendemos...



# Os atratores fascinam



# Matematicamente a ajuda para conhecer o sistema pode vir do Atrator

Simplificando, pode definir-se um atrator como um conjunto de estados do sistema que ele preferentemente toma.

Ou

O conjunto de estados do sistema, onde ele retorna, quando cessa a perturbação.

- Bola de ping pong no mar
  - Não interessa de onde é largada a bola no fundo do mar; ela submerge. O atrator é a superfície do mar
- O coração a bater
  - Os milhares de células que batem no coração constantemente contraem e descontraem. Têm de trabalhar sincronizadamente. O movimento sincronizado que se ajusta é o atrator. Desfibrilar é dar um pontapé no coração para ele retomar o atrator....
- A borboleta de Lorentz
- A forma da equação da sobrevivência de uma espécie.

Embora não possamos prever como um sistema deste tipo se vai comportar exatamente, em cada momento, conhecendo o atrator, podemos saber em que vizinhança podemos encontrar a solução. Igualmente poderemos saber como se vai comportar quando, por um fator externo qualquer for afastado do atrator. A sua tendência, será retornar ao atrator.

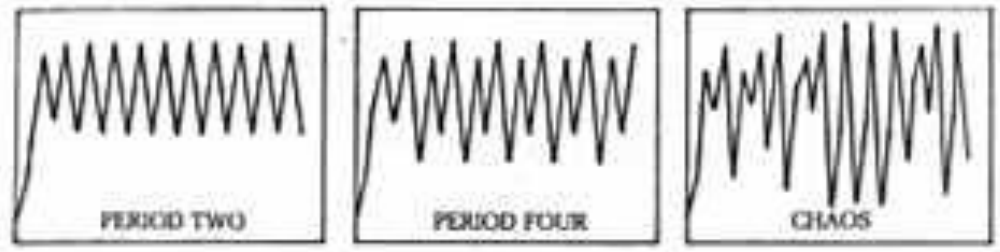
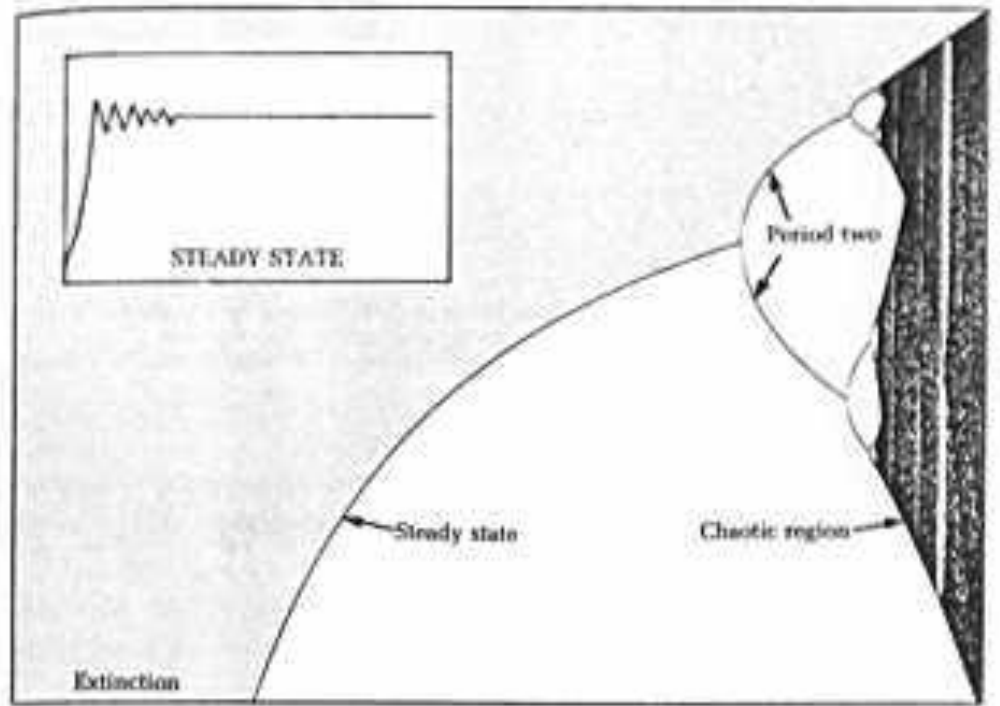
# Ponto da situação:

O atrator é a nossa **esperança de clarificar a solução** .

Saber que há **múltiplos caminhos** para lá chegar é a nossa garantia de **liberdade**.

# A rotina é a queda em cascata

- Estes sistemas podem ser descritos como tendo fases com comportamentos “periódicos”, logo previsíveis, misturados com comportamentos caóticos.
- Mas essa mistura é comandada pelas constantes de Fingenbaum. Ou seja, é ordenada....
- A primeira constante é 4,6692011 609



# Conclusões

- Os modelos de análise de sistemas que interessa estudar são os complexos. Os outros, no nosso mundo de mudança acelerada, tem pouca aderência com a realidade.
- Podemos estudá-los melhor, porque cada vez temos mais e mais barato poder de cálculo.
- São interessantes porque mostram bem a condição do homem votado ao determinismo da sua criação e circunstância, mas com um imenso poder de influência, porque uma sua pequena atitude pode mudar tudo, e detém uma liberdade quase infinita de escolher o seu caminho na vida, em rota para o seu Atrator.



# Anexos

# Diferença entre caos e complexidade

- Caos é a geração de comportamentos complicados, aperiódicos aparentemente aleatórios, provenientes da iteração de uma única regra. Matematicamente, diria que a complexidade pode ser dominada....
- Complexidade é a geração de comportamentos ricos, coletivos e dinâmicos, pela interação simples entre um largo número de subunidades.

# Livros recomendados

- MORIN, EDGAR; **Introdução ao Pensamento Complexo** , 5ª , 2008  
Se a complexidade não é a chave do mundo, mas o desafio a enfrentar, o pensamento complexo é não o que evita ou suprime o desafio, mas o que ajuda a revelá-lo e, por vezes mesmo, a ultrapassá-lo.
- STEWART, IAN ; **Será que Deus Joga Dados?**, 2ª edição, 1991  
"Deus não joga dados!" – a frase de Einstein, sobre o caráter probabilístico da realidade quântica, torna-se agora uma pergunta para quem estuda a matemática do caos, e é aqui analisada pelo autor de algumas obras-primas de divulgação científica
- JAMES GLEICK ; **Caos , A Construção de uma Nova Ciência**,  
Gradiva, 1989 (ultima edição revista, em inglês, 2008).
- PENROSE ,ROGER **A MENTE VIRTUAL (THE EMPEROR´S NEW MIND). 1997**  
....explica com clareza e mestria os conceitos e resultados mais pertinentes da teoria da computabilidade, os fundamentos da filosofia da matemática, a geometria fractal, a física quântica e o funcionamento do cérebro humano, necessários à exposição judiciosa do seu cepticismo sobre os processos de simulação da mente humana por máquinas computacionais.