

EACH



Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo

Modelagem de Sistemas Complexos: panorama

Fernando Fagundes Ferreira

Organização da Palestra

Classificar Sistemas
Teoria do Caos
Sistemas Complexos
Ferramentas

Um **sistema** pode ser definido como um conjunto de elementos interrelacionados que interagem, desempenha uma função, pode ou não se regular!

Tipos de Sistemas:

Simples

Complicados

Caóticos

Complexos

Simple e Complicado

sistemas simples: O seu funcionamento é previsível e a relação de causa e efeito está clara e geralmente possui número pequeno de elementos

sistema complicado : é fruto de um projeto sofisticado que envolve muitas partes (pode ser milhões de peças) que desempenham uma função específica, previsível.



Caos:

“Caos aparentemente é ruidoso (aparenta ser estocástico) mas é um sistema determinístico que exibe dependência e sensibilidade às condições iniciais e , a sua trajetória no longo prazo se dá de forma aperiódica”



Edward Lorenz e o Efeito Borboleta

- Professor de Meteorologia do Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- A previsão do tempo é complicada! É necessário simplificar
- Em 1963 ele derivou um sistema de três equações para ajudar nesta tarefa

$$\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x)$$

$$\frac{dy}{dt} = -xz + rx - y$$

$$\frac{dz}{dt} = xy - bz$$

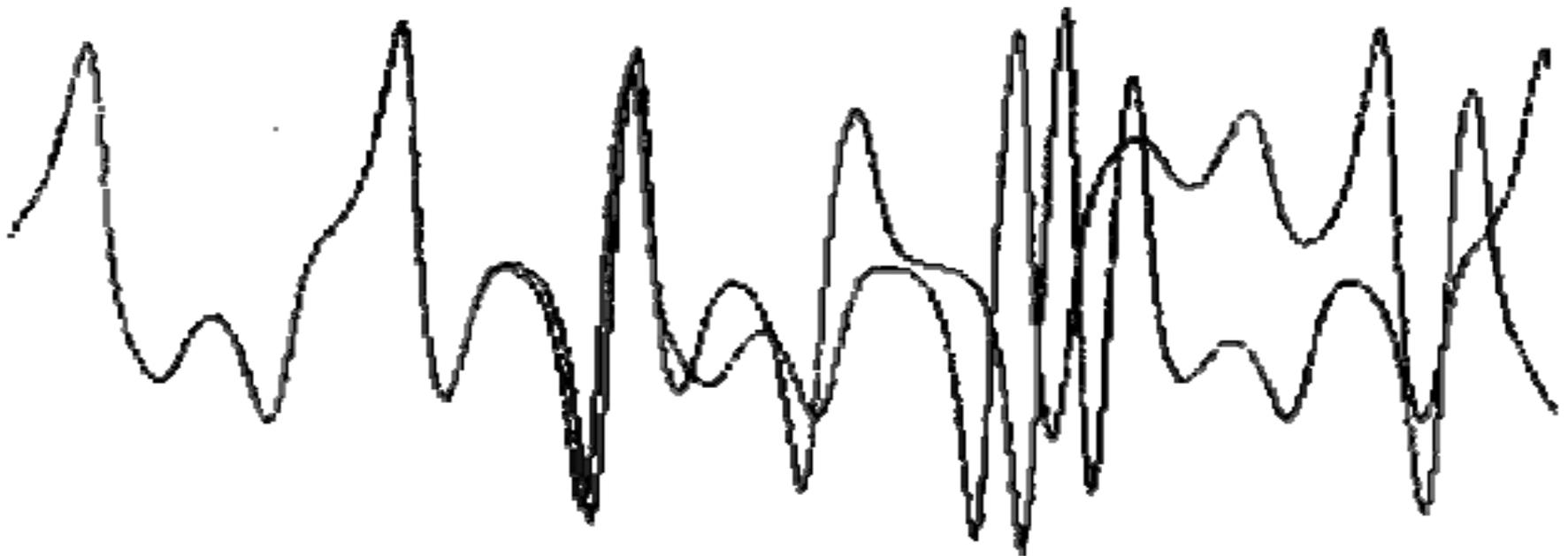
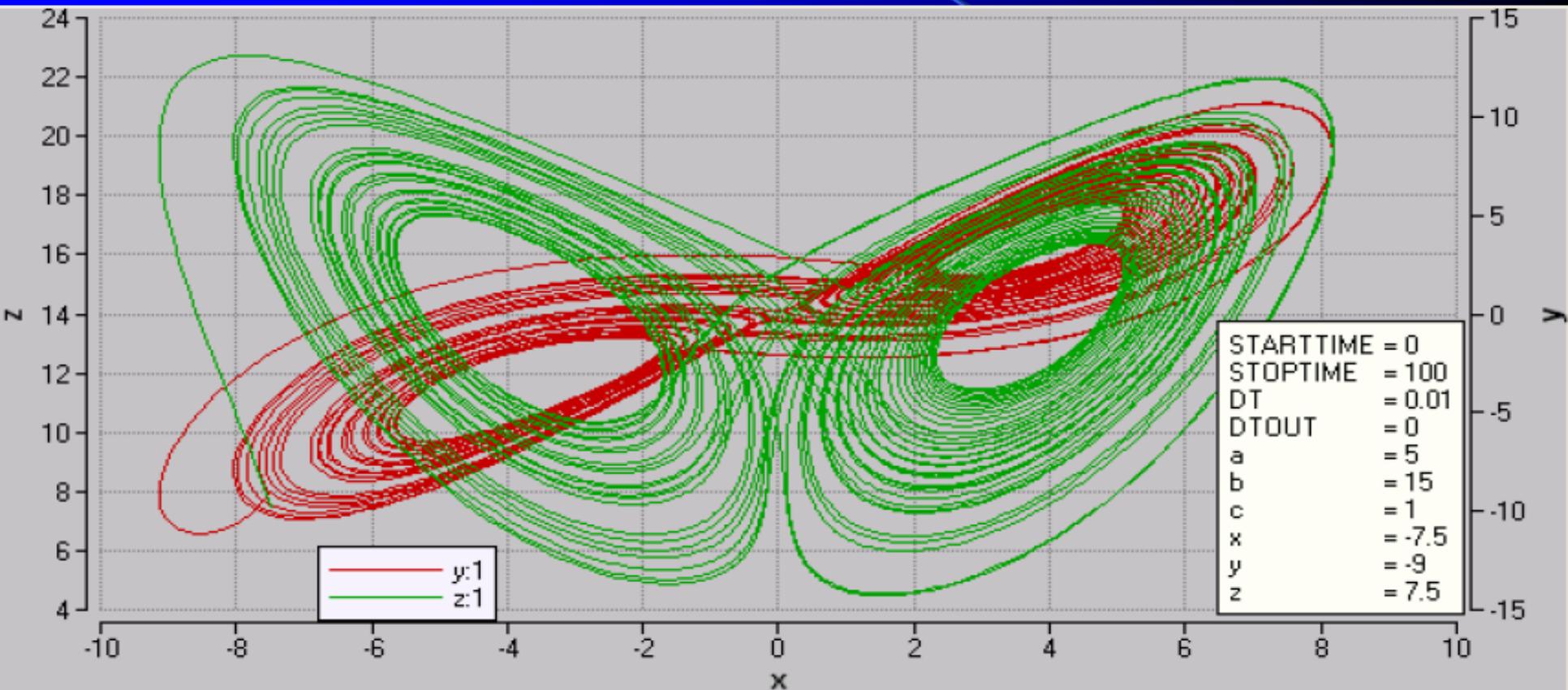


Figure 1: Lorenz's experiment: the difference between the start of these curves is only .000127. (Ian Stewart, Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos, pg 141)

Lorenz entrou com um número ligeiramente menor : 0.506 Assumindo que a diferença é uma parte em mil, isso deveria ser irrelevante e sem consequências (o que ele imaginava)
Mas o resultado surpreendeu !

Este fenômeno ficou conhecido como sensibilidade as condições iniciais (efeito borboleta)

Atrator de Lorenz



Dinâmica Populacional Discreta

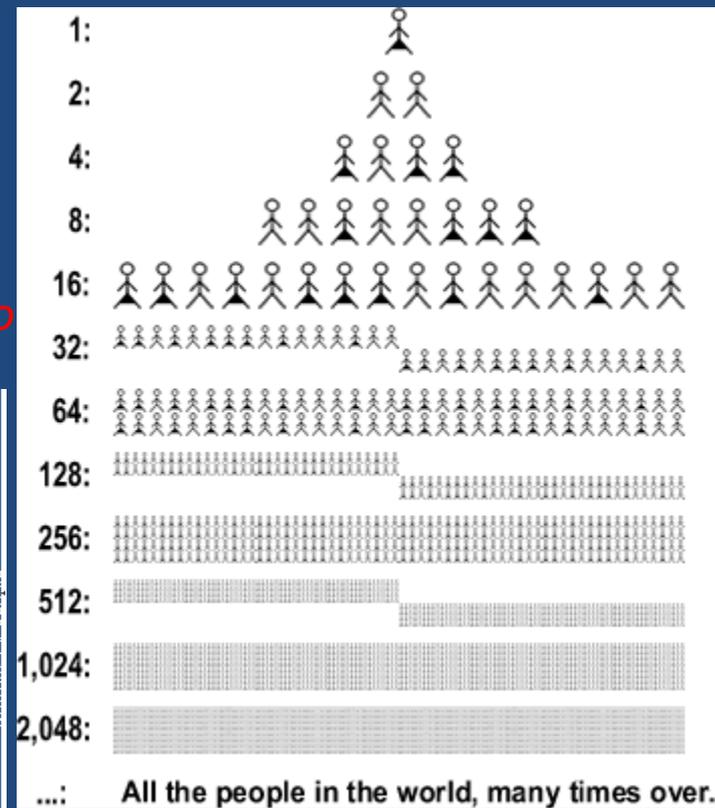
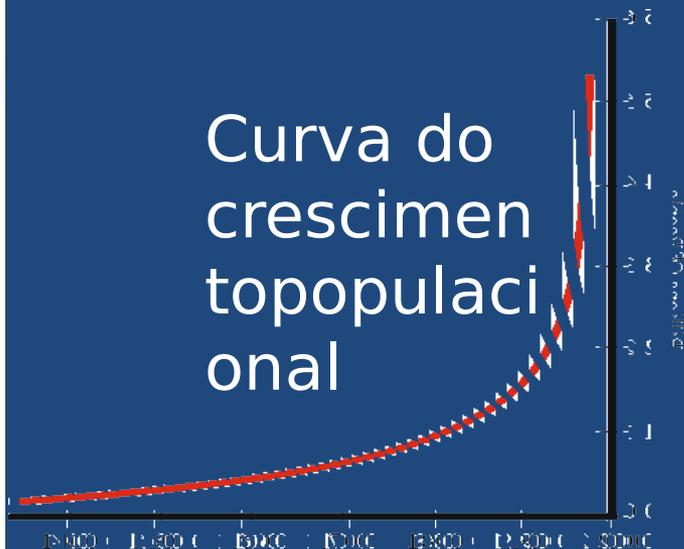
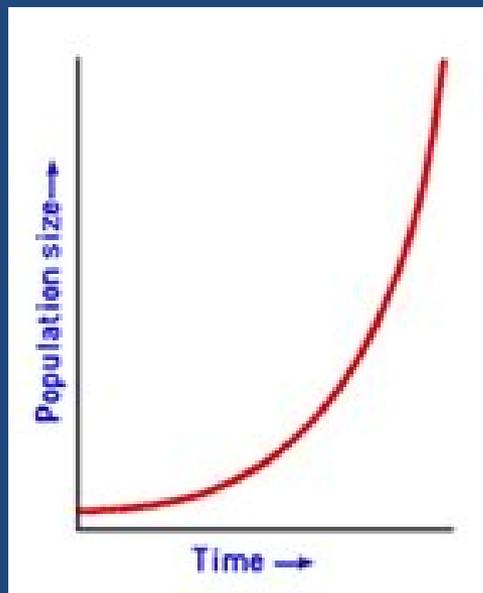


Taxa de crescimento

$$X_{\text{depois}} = r X_{\text{antes}}$$

População próximo ano

População este ano



Dinâmica Populacional Discreta



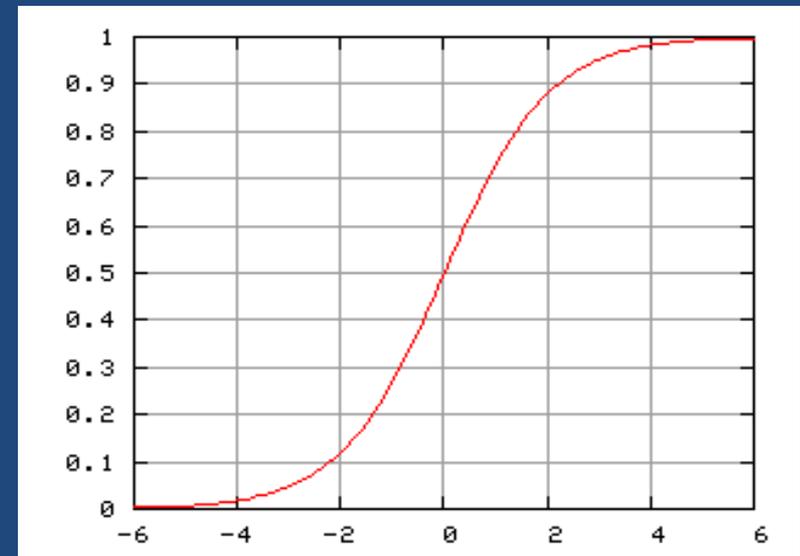
*Positivo
feedback*

*Negativo
feedback*

$$X_{t+1} = r X_t (1 - X_t)$$

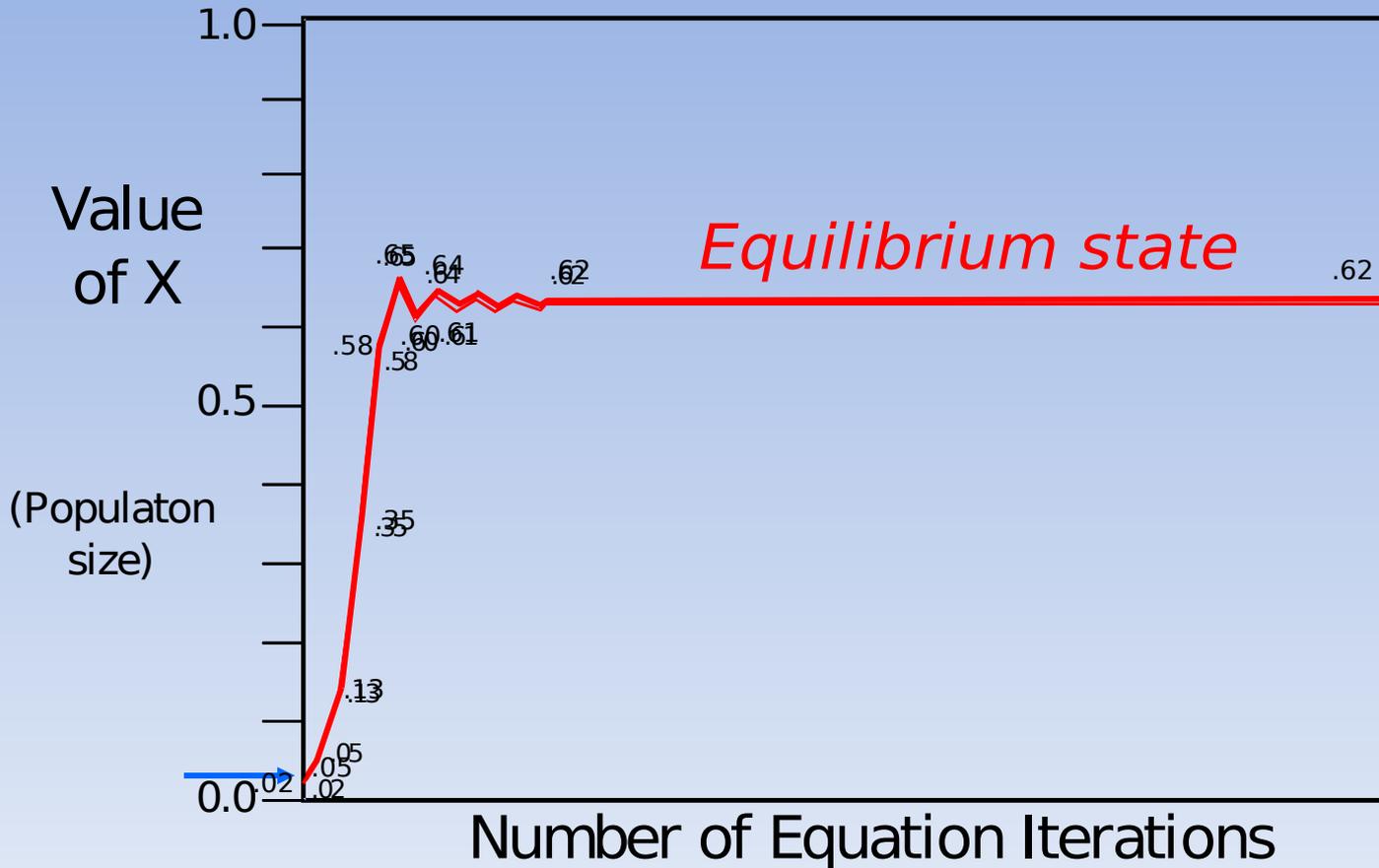
Estado de Equilíbrio

Função logística ou curva logística. No estágio inicial o crescimento é aproximadamente exponencial, então a competição surge e o crescimento diminui e depois para de crescer.



$X_{next} = rX(1-X)$

$r = 2.7$

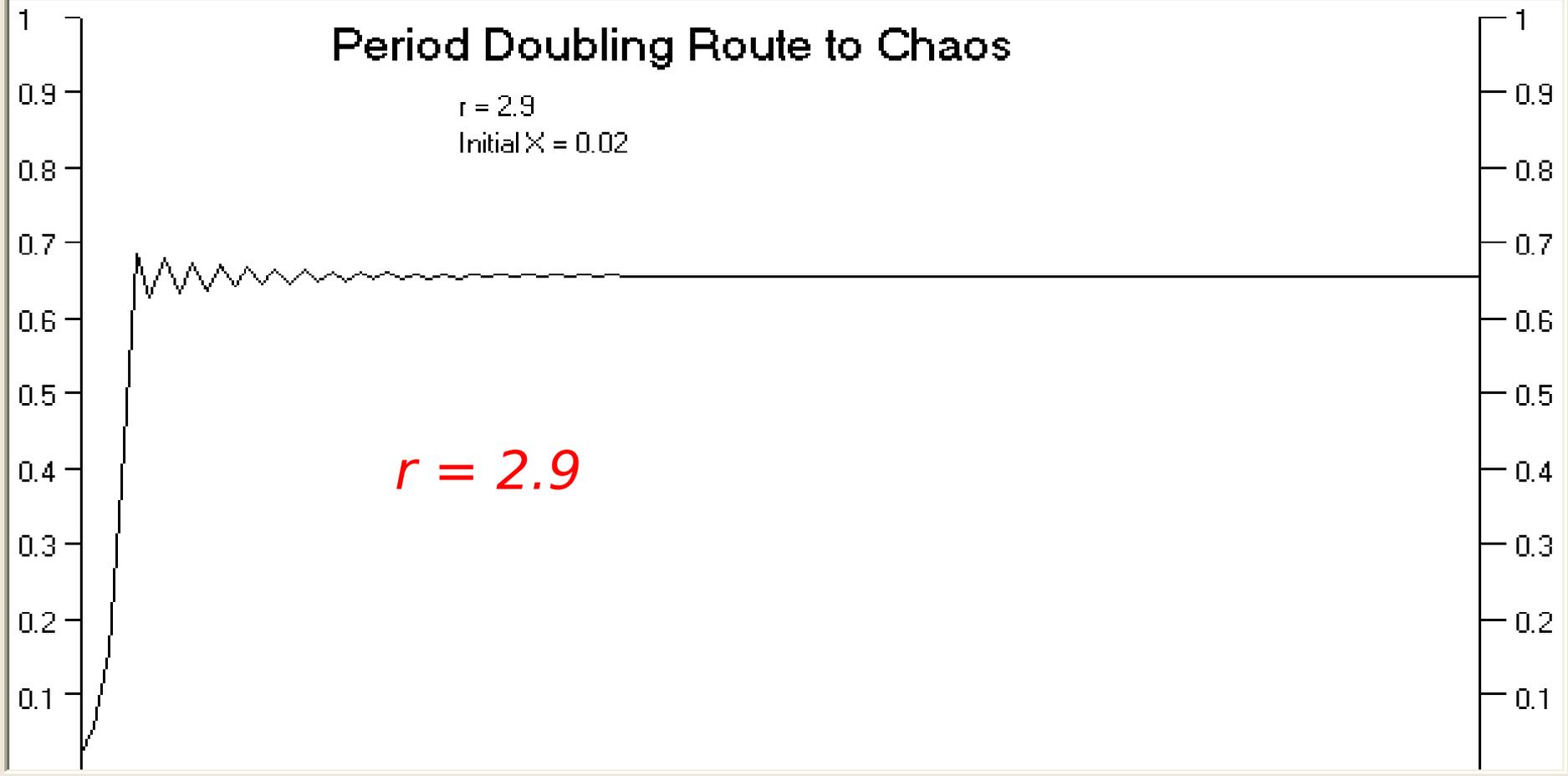


Iteration	X Value
0	0.0200000
1	0.0529200
2	0.1353226
3	0.3159280
4	0.5835173
5	0.6561671
6	0.6091519
7	0.6428318
8	0.6199175
9	0.6361734
10	0.6249333
11	0.6328575
12	0.6273420
13	0.6312168
14	0.6285118
15	0.6304087
16	0.6290826
17	0.6300117
18	0.6293618
44	0.6296296
45	0.6296296
46	0.6296296
47	0.6296296
48	0.6296296
49	0.6296296
50	0.6296296

Period Doubling Route to Chaos

$r = 2.9$
Initial $X = 0.02$

$r = 2.9$



Variables:

r Value:

Initial X:

Iterations:

Calculation Interval: ▼

Overwrite Previous:

Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

Go

Report

View Output

Bifurcation Diagram

End Calc.

Quit

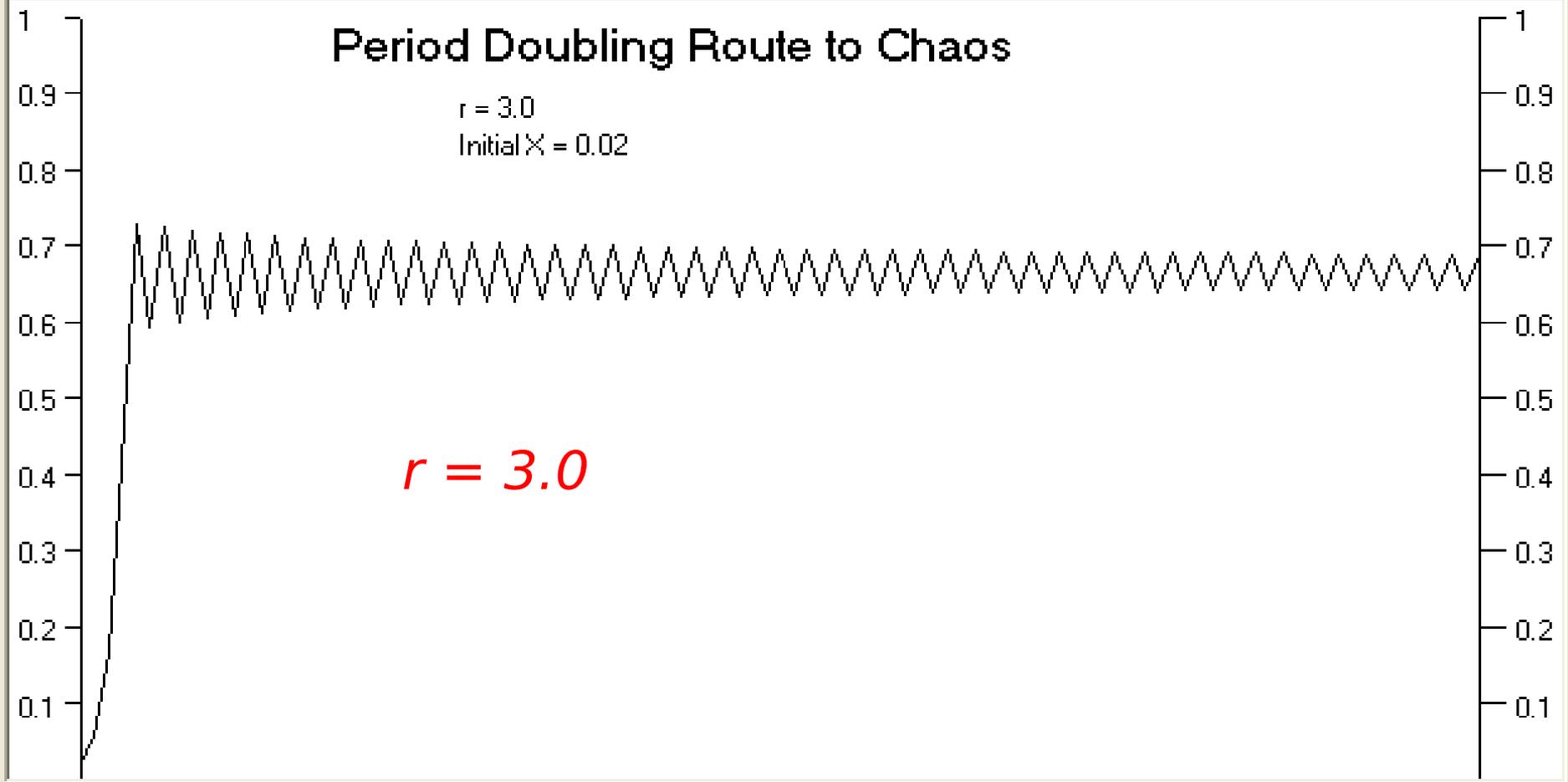
X-Y Plot

About

Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.0$
Initial $X = 0.02$

$r = 3.0$



Variables

r Value:

Initial X:

Iterations:

Calculation Interval: ▼

Overwrite Previous:

Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

Go

Report

View Output

Bifurcation
Diagram

End Calc.

Quit

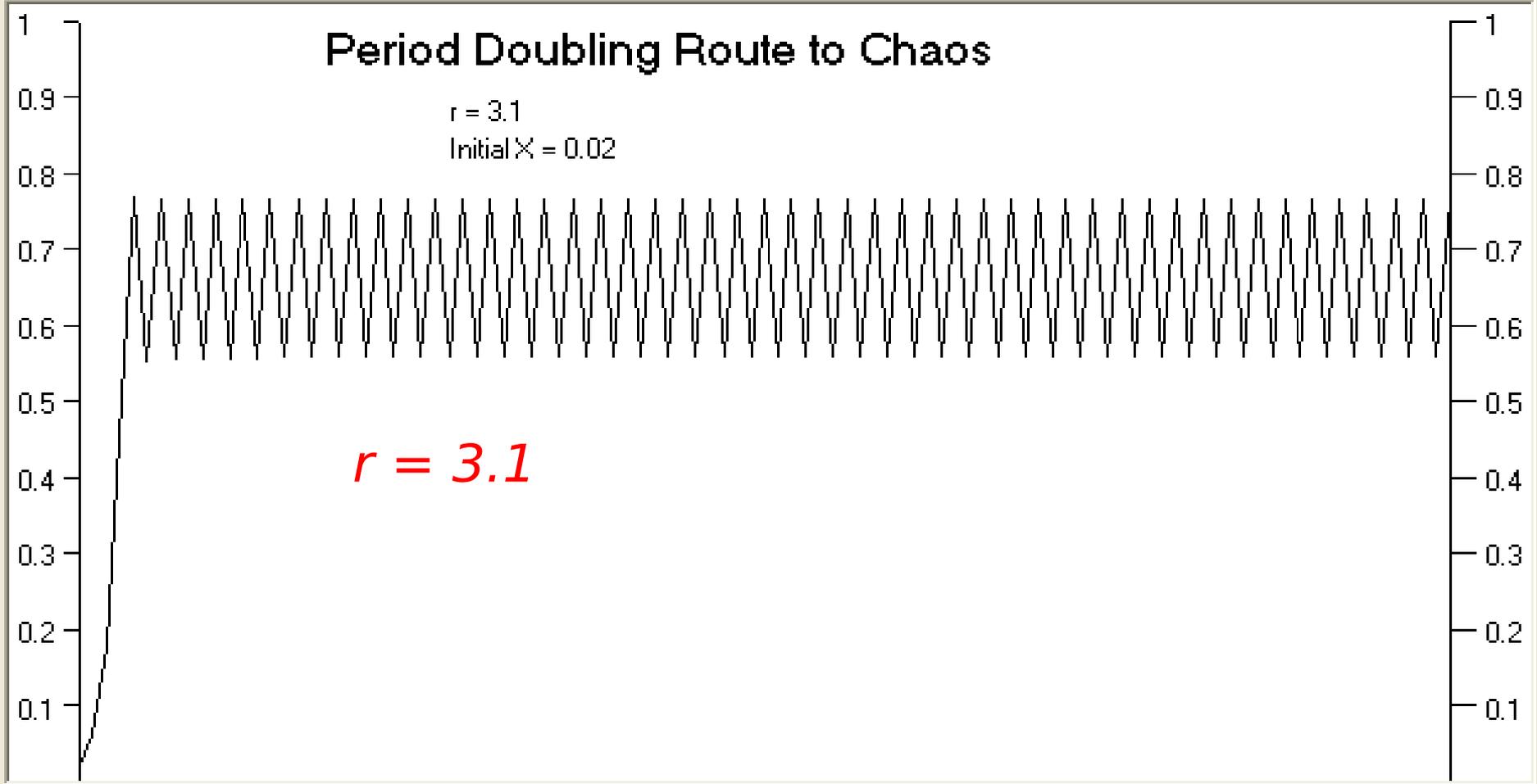
XY Plot

About

Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.1$
Initial $X = 0.02$

$r = 3.1$



Variables

r Value:

Calculation Interval: ▾

Initial X:

Overwrite Previous:

Iterations:

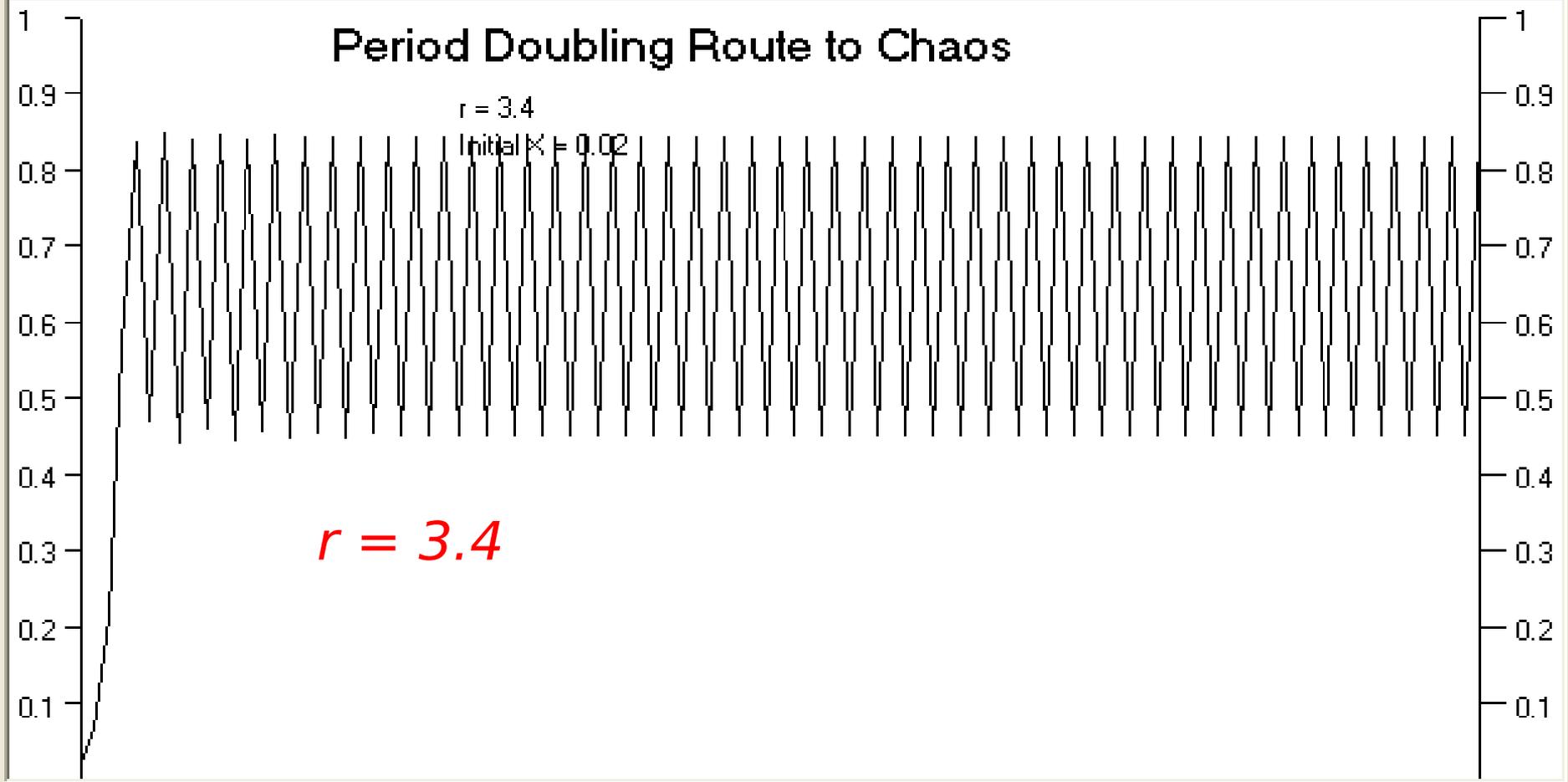
Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.4$
Initial $X = 0.02$

$r = 3.4$



Variables:

r Value:

Calculation Interval: ▼

Initial X:

Overwrite Previous:

Iterations:

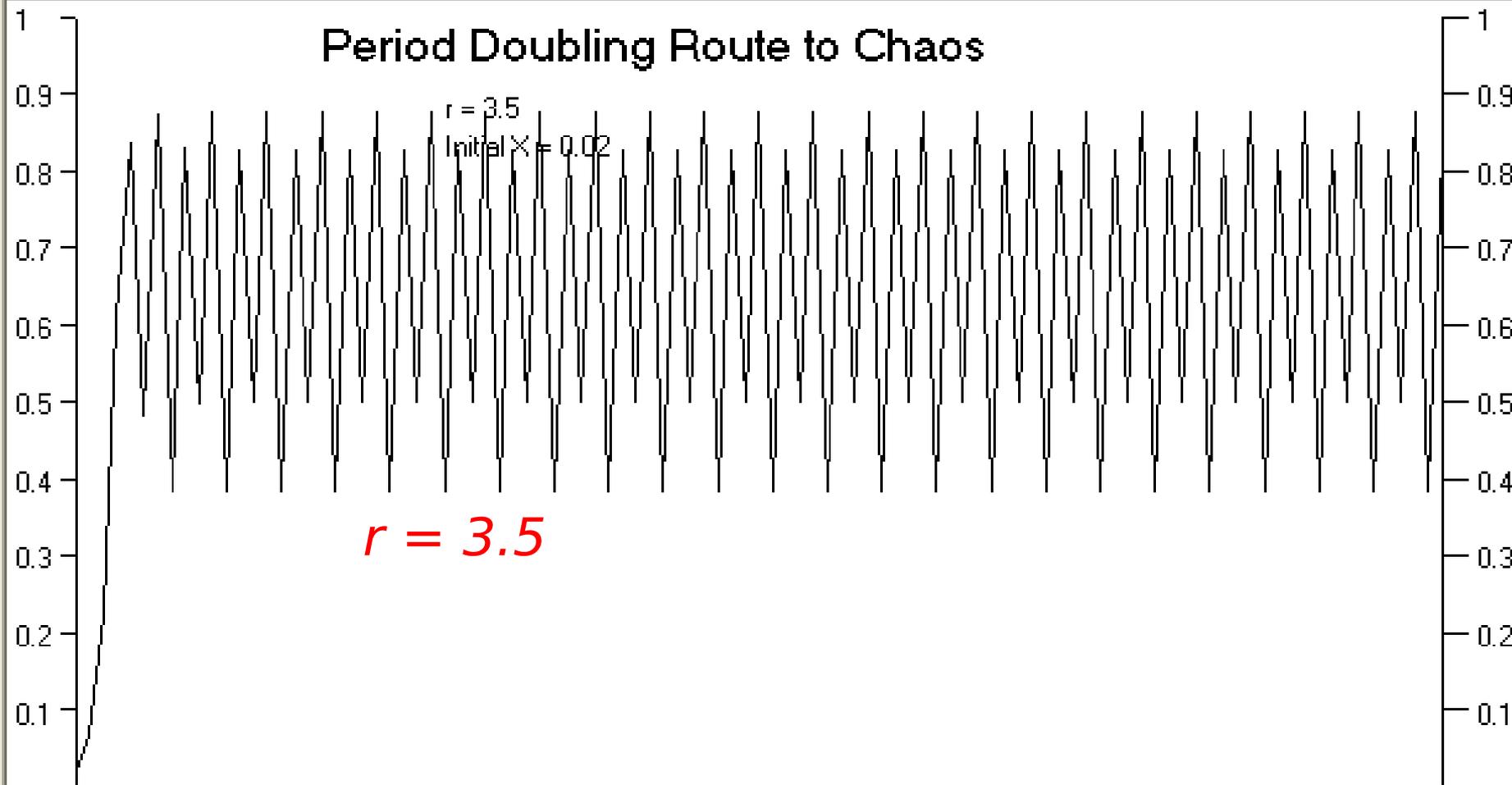
Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.5$
Initial $X = 0.02$

$r = 3.5$



Variables

r Value:

Calculation Interval:

Initial X:

Overwrite Previous:

Iterations:

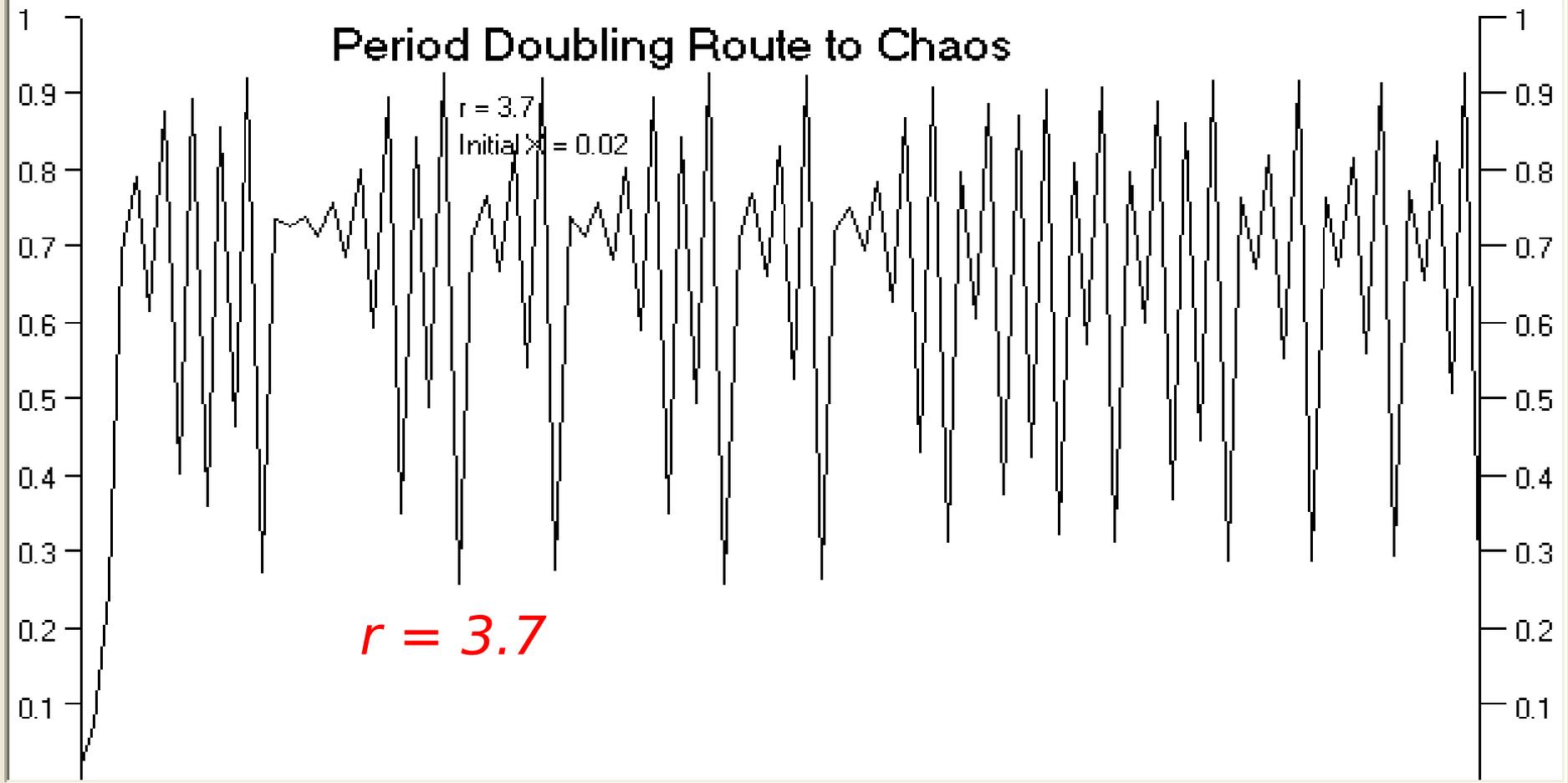
Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.7$
Initial $x_0 = 0.02$

$r = 3.7$



Variables

r Value:

Calculation Interval: ▾

Initial x_0 :

Overwrite Previous:

Iterations:

Plot Sine Wave:

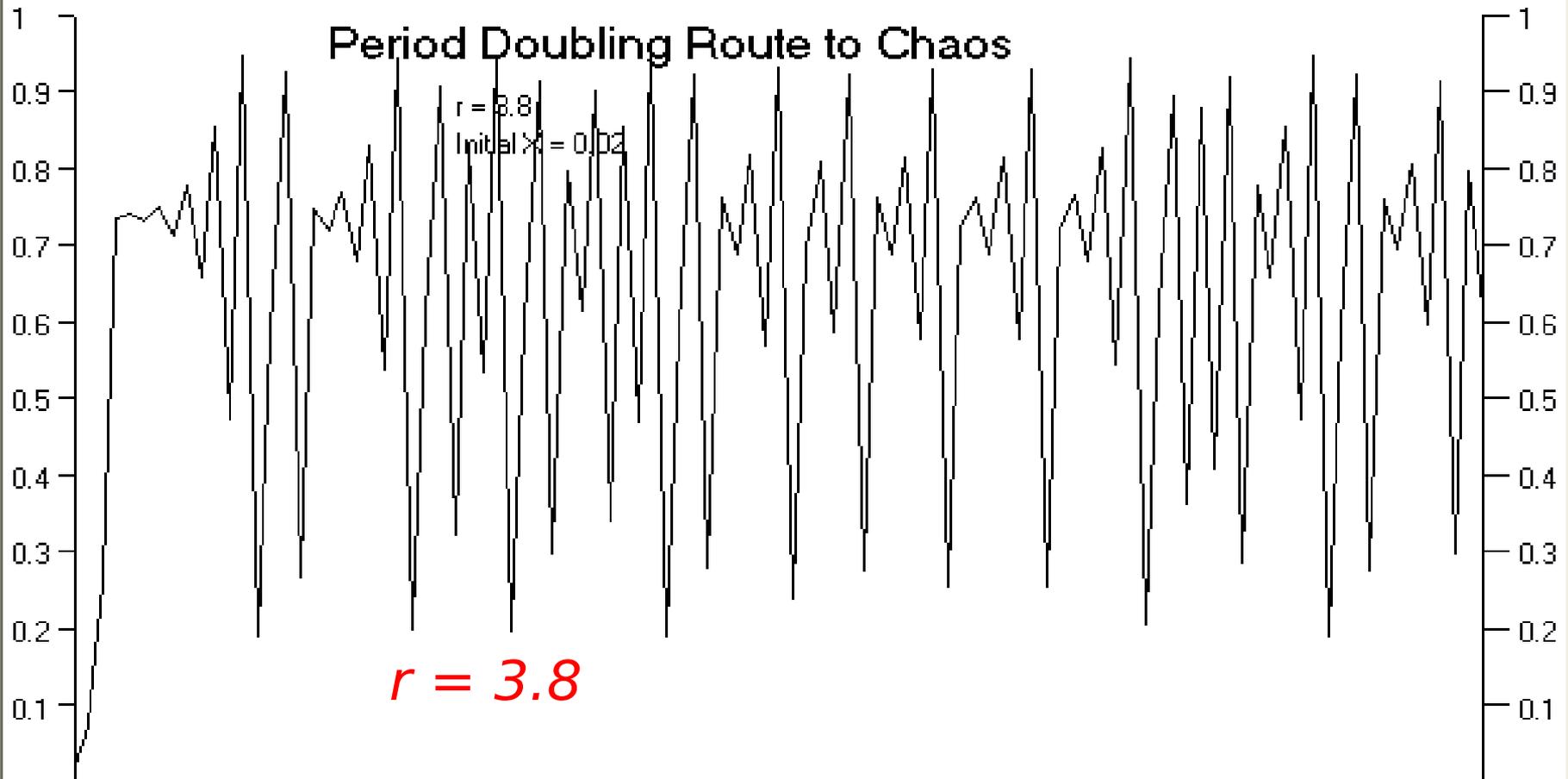
Plot Random Noise:



Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.8$
Initial $X = 0.02$

$r = 3.8$



Variables

r Value:

Calculation Interval:

Go

Report

View Output

Initial X:

Overwrite Previous:

Bifurcation
Diagram

End Calc.

Quit

Iterations:

Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

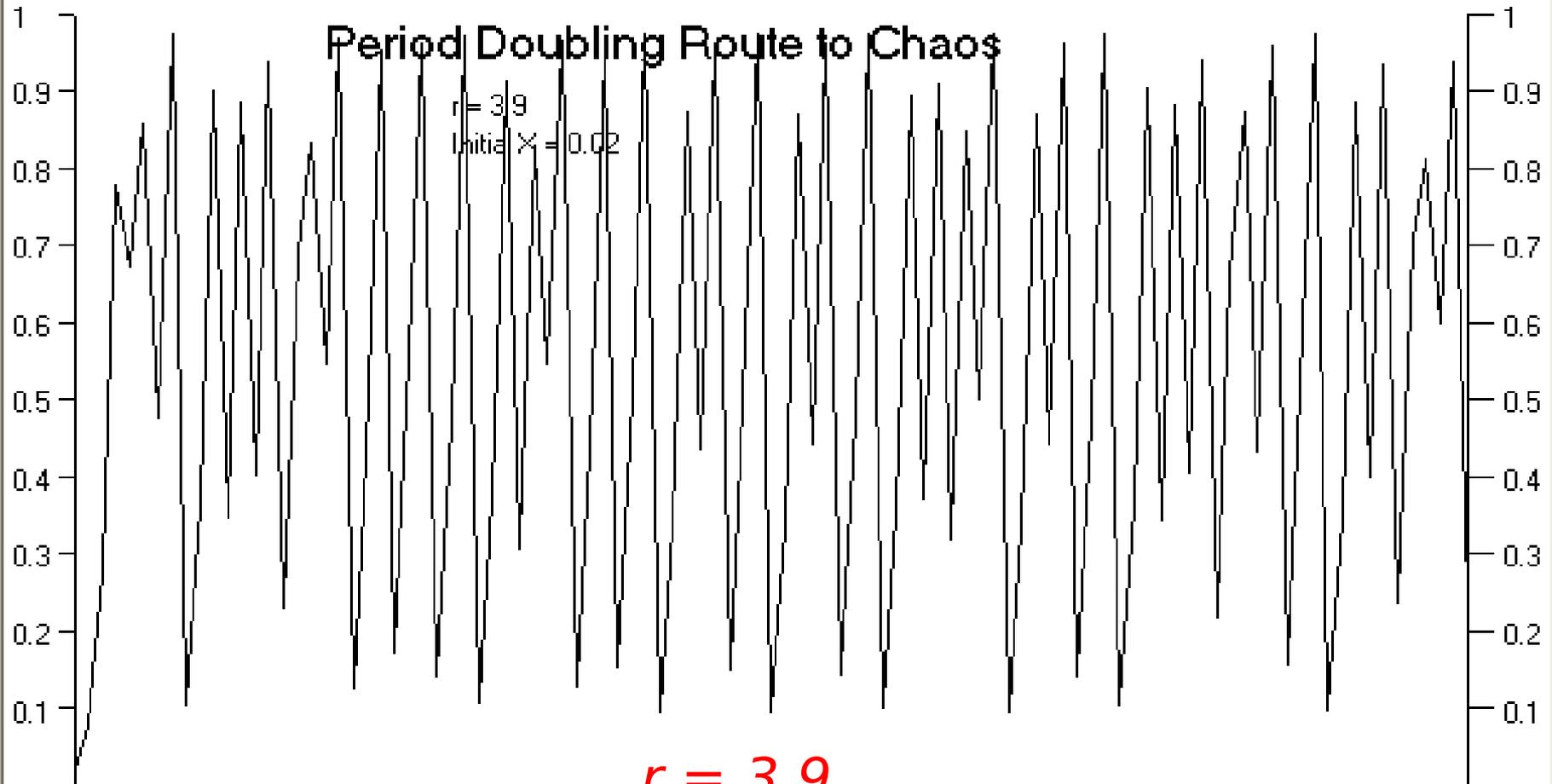
XY Plot

About



Period Doubling Route to Chaos

$r = 3.9$
Initial $X = 0.02$



$r = 3.9$

Variables:

r Value:

Calculation Interval: ▾

Go

Report

View Output

Initial X :

Overwrite Previous:

Bifurcation
Diagram

End Calc.

Quit

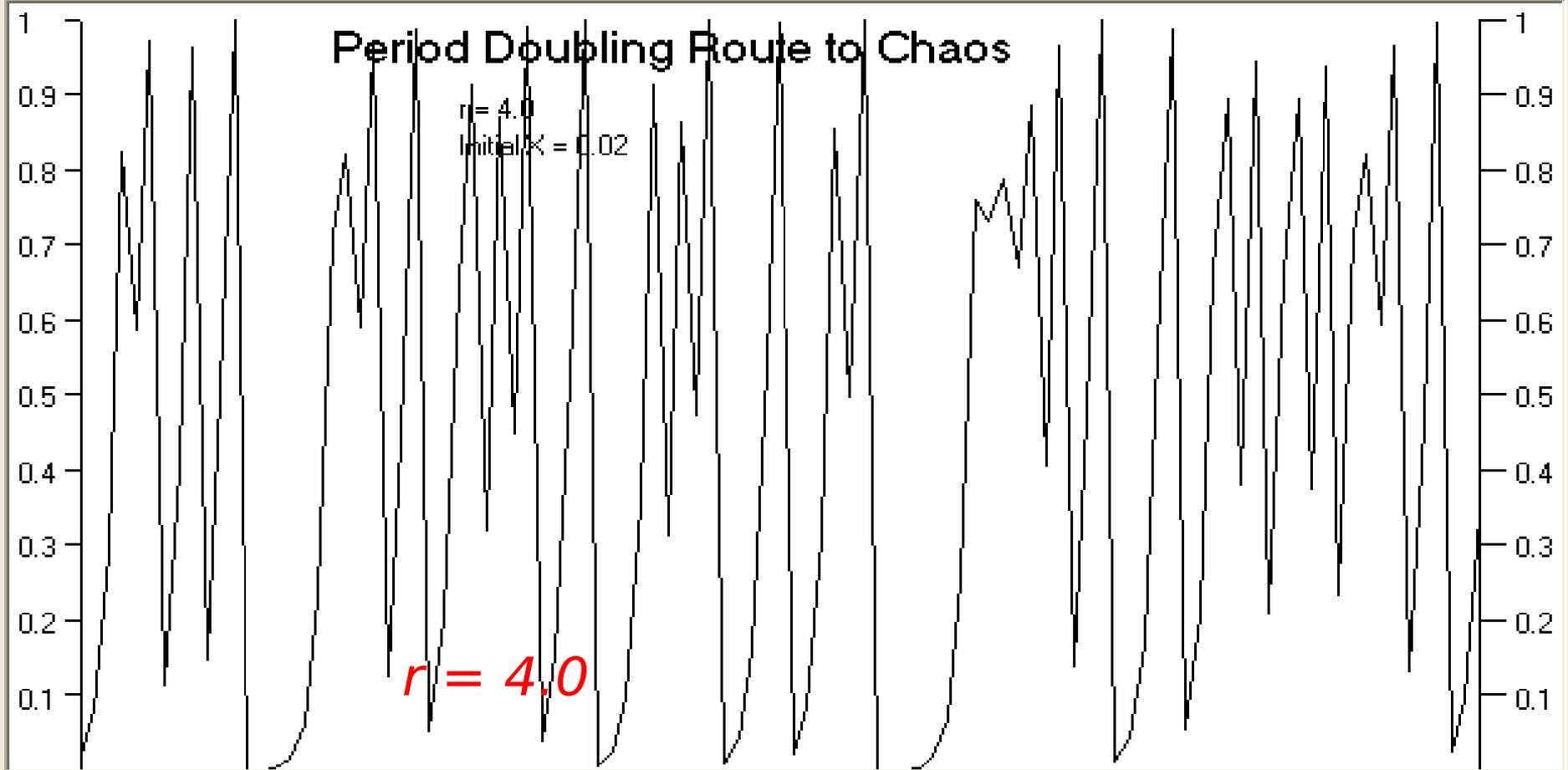
Iterations:

Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:

XY Plot

About



Variables:

r Value:

Calculation Interval: ▾

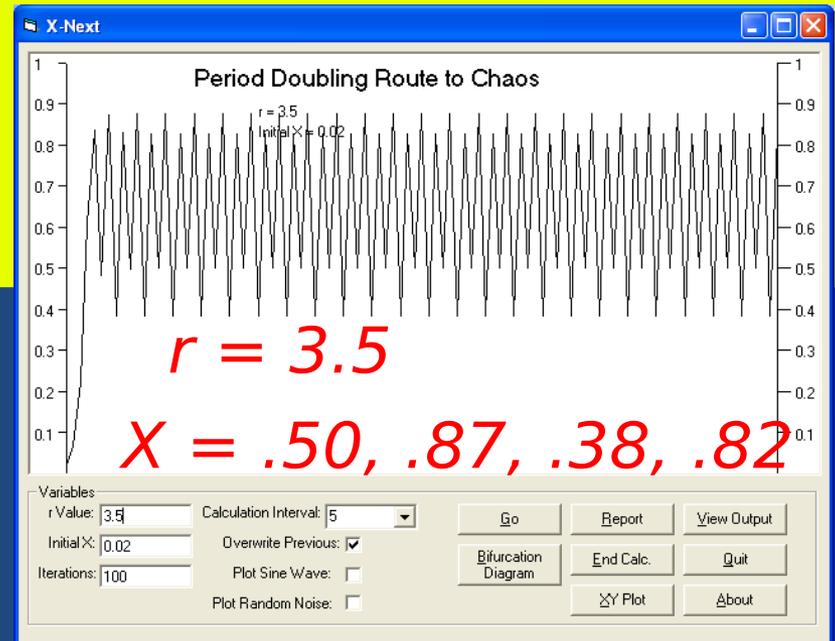
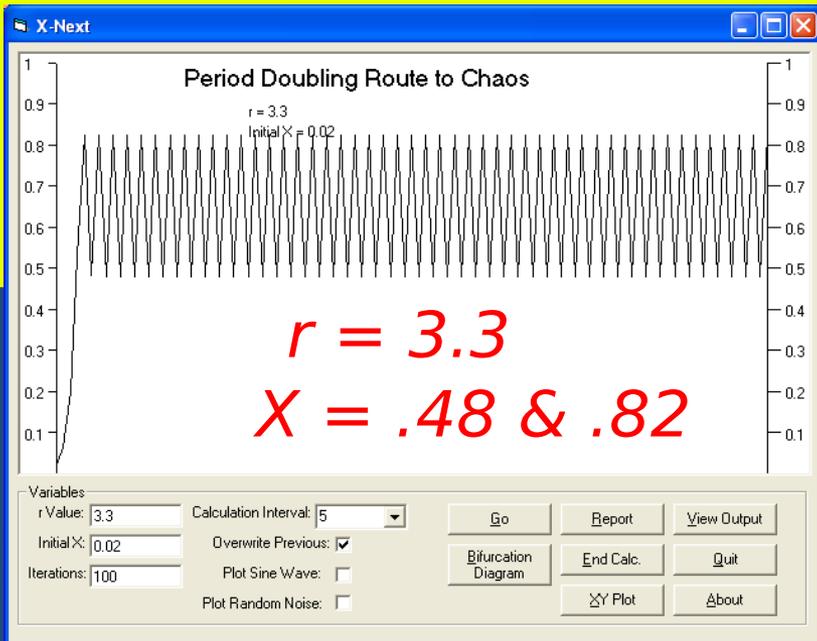
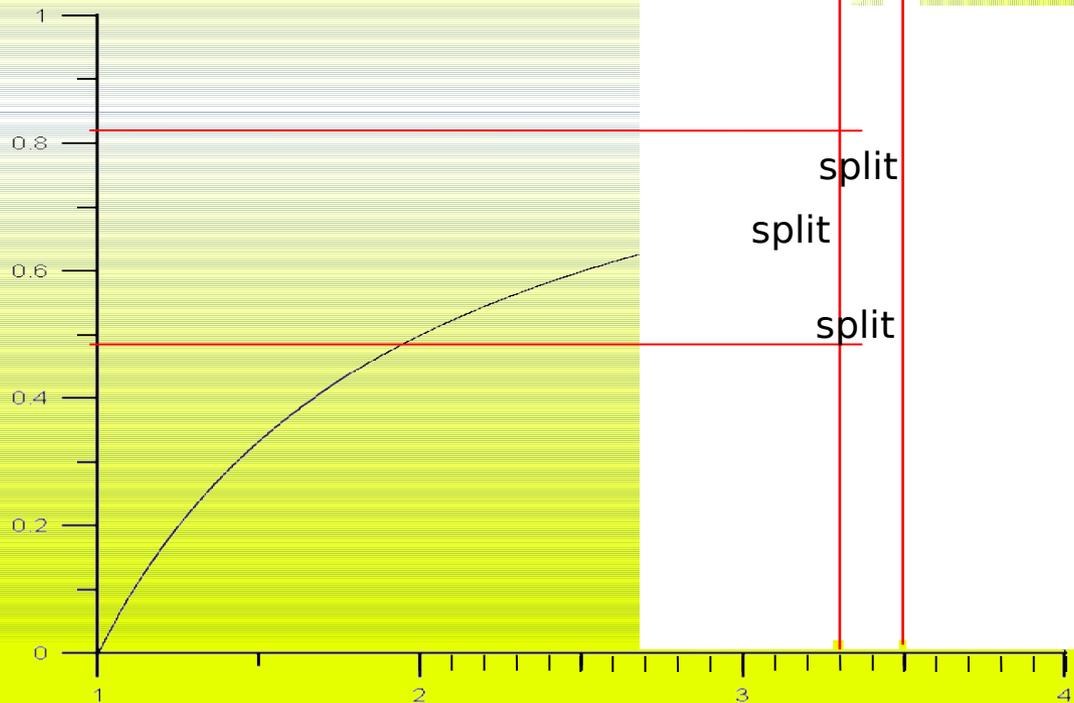
Initial X:

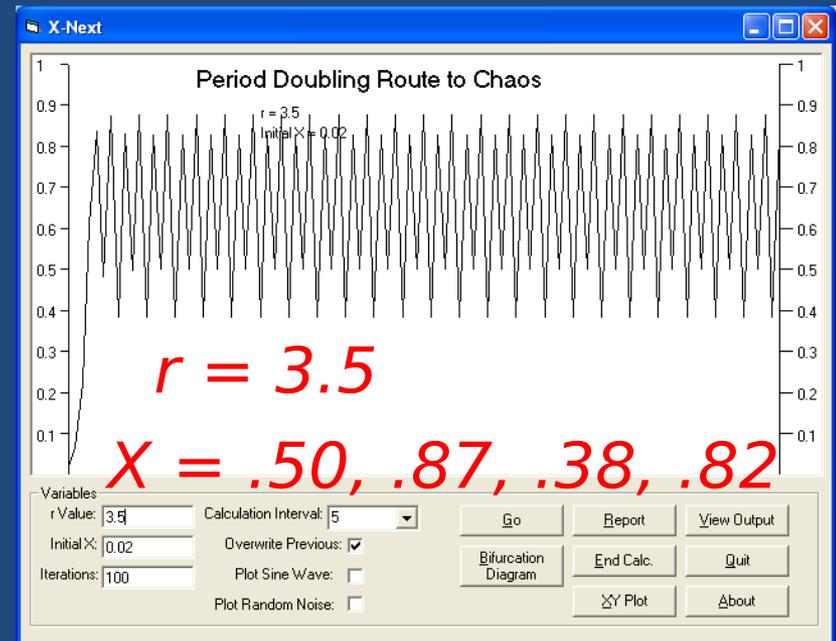
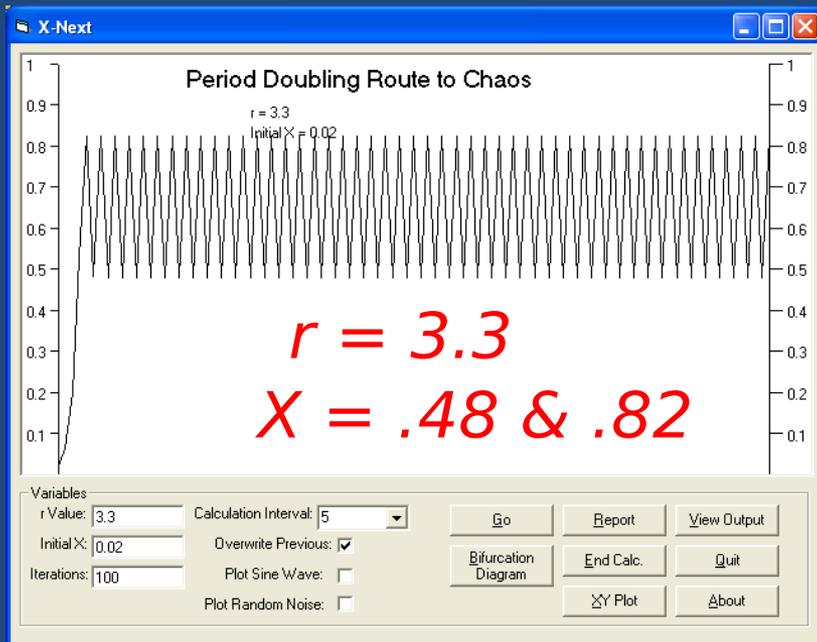
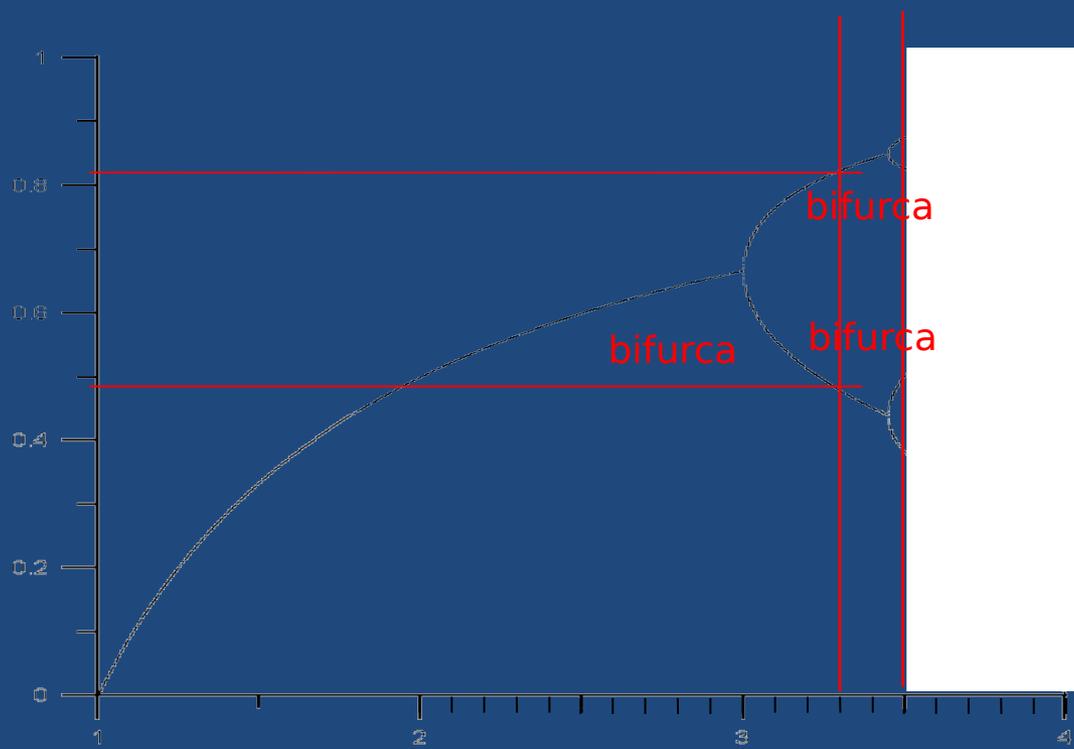
Overwrite Previous:

Iterations:

Plot Sine Wave:

Plot Random Noise:



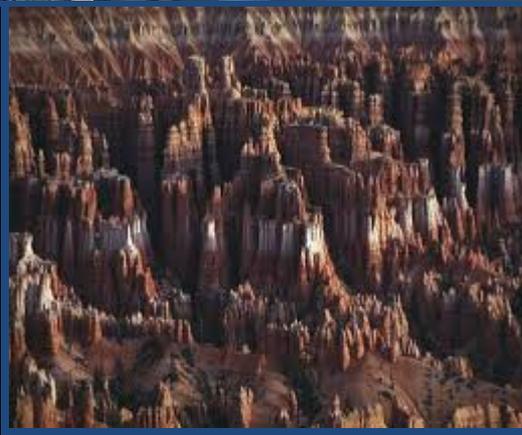


Tamanho
População

Diagrama de Bifurcação



Fractais



Atratores Estranhos

Um atrator é um conjunto de pontos para a qual a dinâmica evolui depois de um longo tempo.

Pode ser um ponto , círculo ou um torus (**sistemas simples**)

Um atrator é estranho se ele tiver uma dimensão não inteira - Nesta caso temos um Atrator de um sistema caótico (**dinâmica caótica**)

Ele é dito estranho pois uma vez o sistema entra no atrator (atinge), os estados vizinhos divergem um dos outros de forma exponencial



Emergência e Auto-organização

Emergência é o surgimento de propriedades que não são inferidas ou deduzidas a partir das características dos elementos considerados individualmente.

Auto-organização é o aparecimento de estruturas (ou padrões) que resultam de decisões individuais sem a presença de um agente central e controlador.

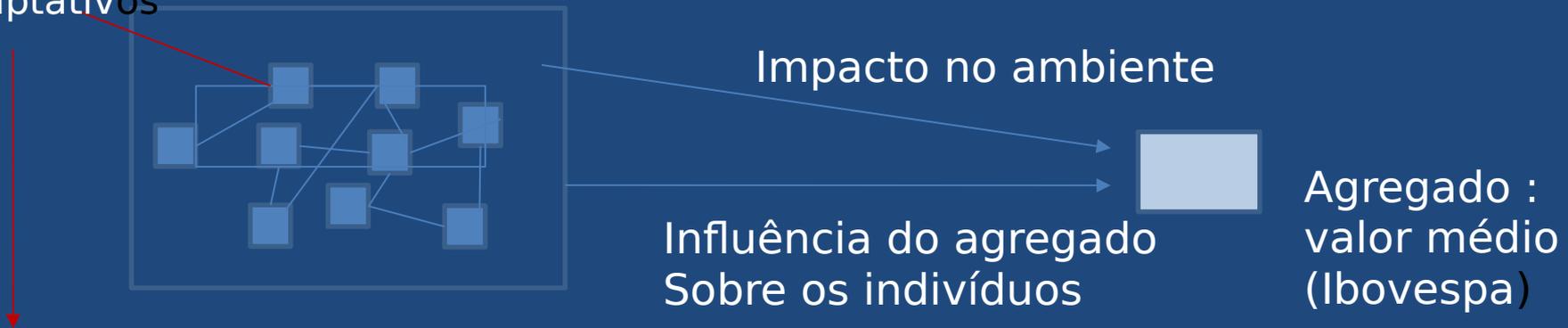
<http://www.youtube.com/watch?v=b8eZJnbDHIg&feature=related>

http://www.youtube.com/watch?v=kr_hspP6ck

Sistemas Complexos

- ❑ Sistemas feitos com muitos agentes (Large Systems)
- ❑ Agentes interagem entre si - aprendem ou adaptam
- ❑ Apresentam não linearidade (feedbacks)
- ❑ Exibem propriedades emergentes
- ❑ Auto-organização (não possuem controle central)
- ❑ Pode gerar inovação

Agentes
Adaptativos



Agentes Competem entre si
Podem adaptar

Sistemas Complexos

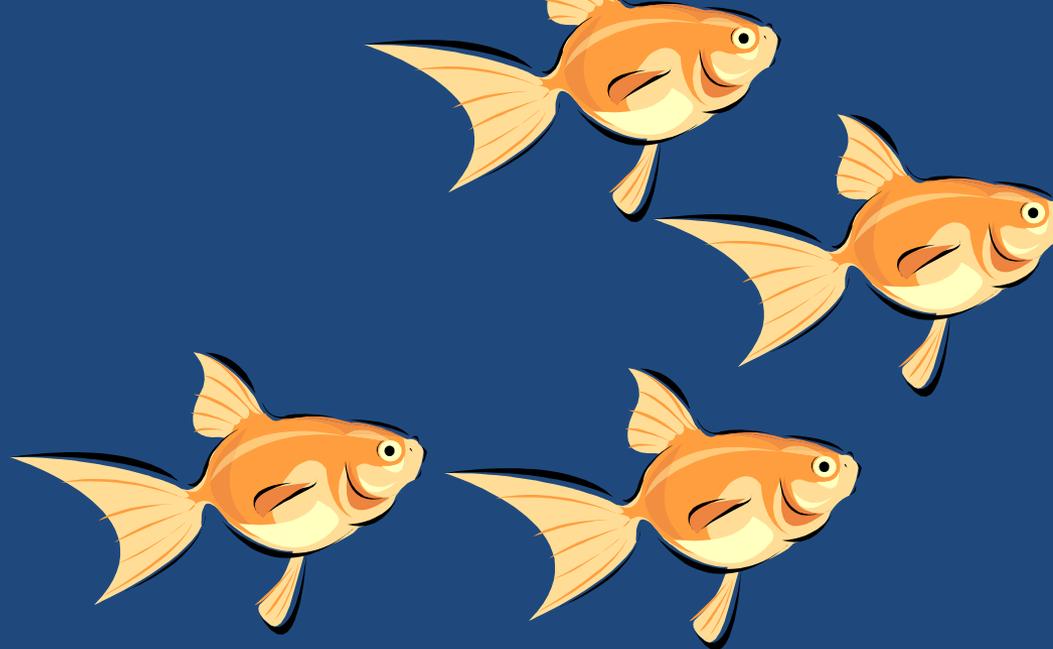
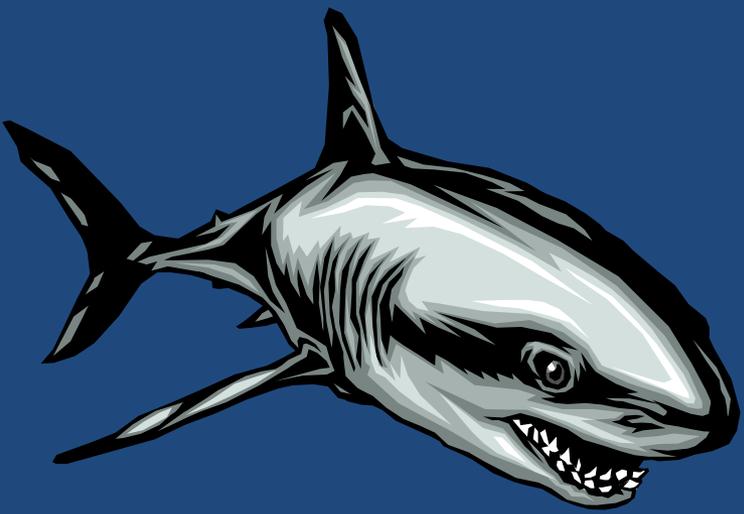
Agentes

Organismos
Firmas
Anticorpos
Investidores
Pessoas

Sistemas

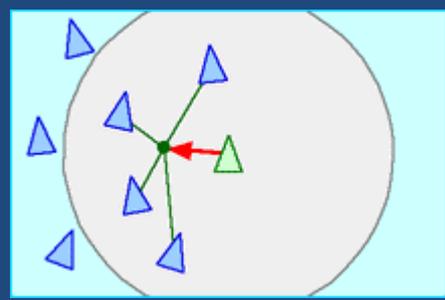
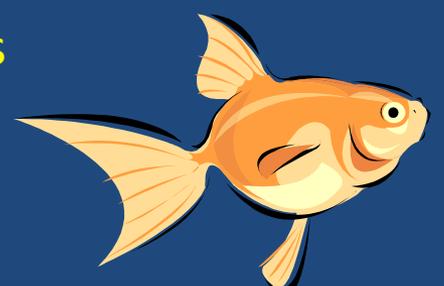
Ecosistema
Economia
Sistema Imunológico
Mercado Financeiro
Sociedades

- Agentes são autônomos mas podem estar interconectados (grandes redes)
- Interagente (trocam e processam informação)
- Tomam decisões (segundo regras simples)
- Imprevisíveis, mas exibem padrões ou regularidades estatísticas
- Ele não foi projetado por alguém (ainda não). É um resultado coletivo
- Não linear e possui feedbacks no sistemas de interação individual e agregada
- Alguns sistemas são adaptativos. Mudança de comportamento, característica ou estratégia. Esta propriedade aumenta a chance de sobrevivência da espécie. (Variabilidade, flexibilidade, aprendizado)

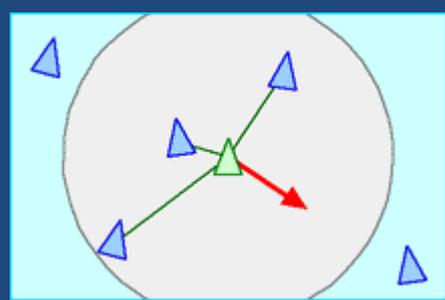


Craig Reynolds propôs:

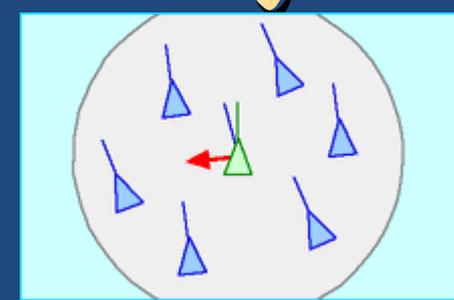
1. Voe ou nade rumo ao centro de massa dos vizinhos
2. Mantenha distância dos outros pares
3. Mantenha velocidade próxima dos seus vizinhos



1. cohesion



2. separation



3. alignment

Formigas: insetos sociais



Num formigueiro existe total organização:
As tarefas são bem divididas entre as formigas

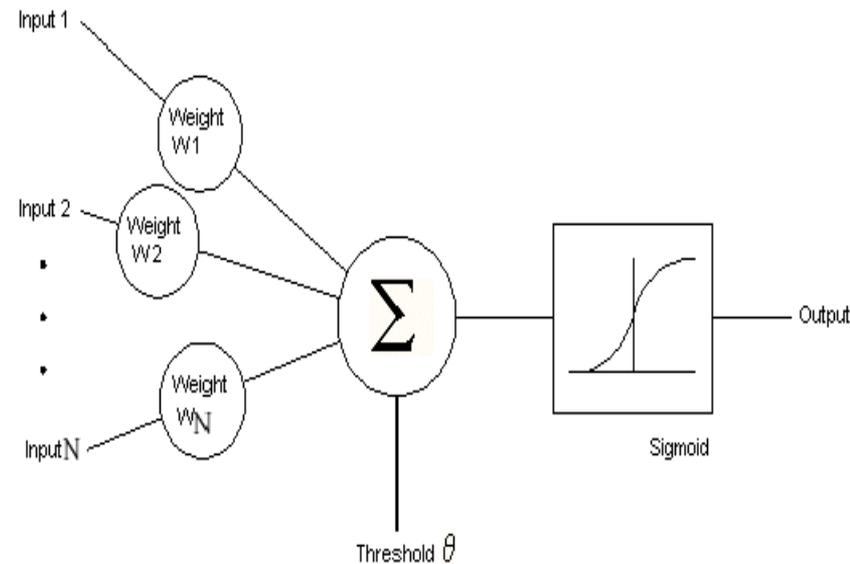
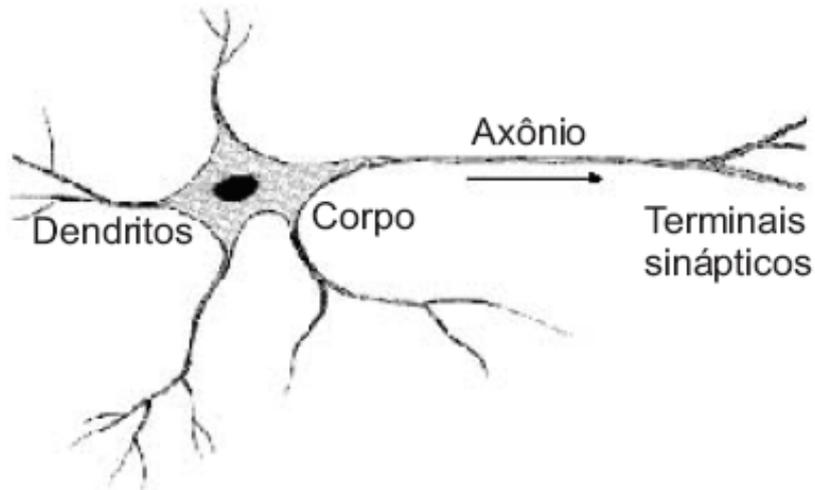
Cabe a formiga **rainha** a função de reprodução da colônia.
as **sentinelas** (segurança), as **enfermeiras** (cuidam das larvas)
operárias (fazem os túneis do formigueiro e buscam alimentos)
As formigas são **insetos** que sentem o cheiro das coisas através de suas antenas
Comunicam-se entre si através de liberação de feromonas (compostos químicos)
Algumas formigas podem picar e passar um tipo de ácido que pode irritar a vítima.
O acasalamento da formiga rainha acontece num vôo nupcial.
Após a fecundação o macho morre e a rainha perde as asas antes de botar os ovos.

O ninho é uma belíssima arquitetura, com passagens formando redes. São secos e
Temperatura controlada.

Elas regulam a quantidades de indivíduos que executam certas tarefas (flexíveis)
Sacrificam-se pelas outras. Notável a **cooperação** entre elas.

Cérebro

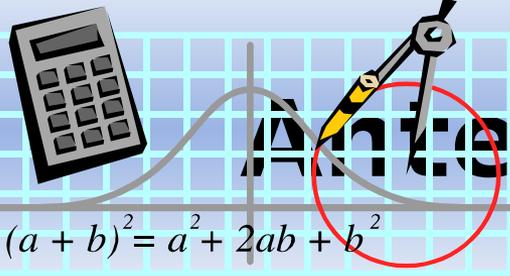
FIGURA 1
Representação simplificada de um neurônio



- **Excitação** : ligam, ou mandam mensagens excitatórias
- **Inibição** : desligam, ou mandam mensagens inibitórias
- O neurônio *soma* as mensagens que entram, será estimulado se as mensagens excitatórias excederem as inibitórias e vice-versa

Sistema complexo

é um sistema multiagente que exhibe comportamento que é emergente e auto-organizado (pode ser adaptativo)



Antes da Complexidade

Os cientistas acreditavam que o futuro era preditível com um número suficientes de dados

Ao dissecar partes distintas do sistema poderia se revelar como todo o sistema funciona

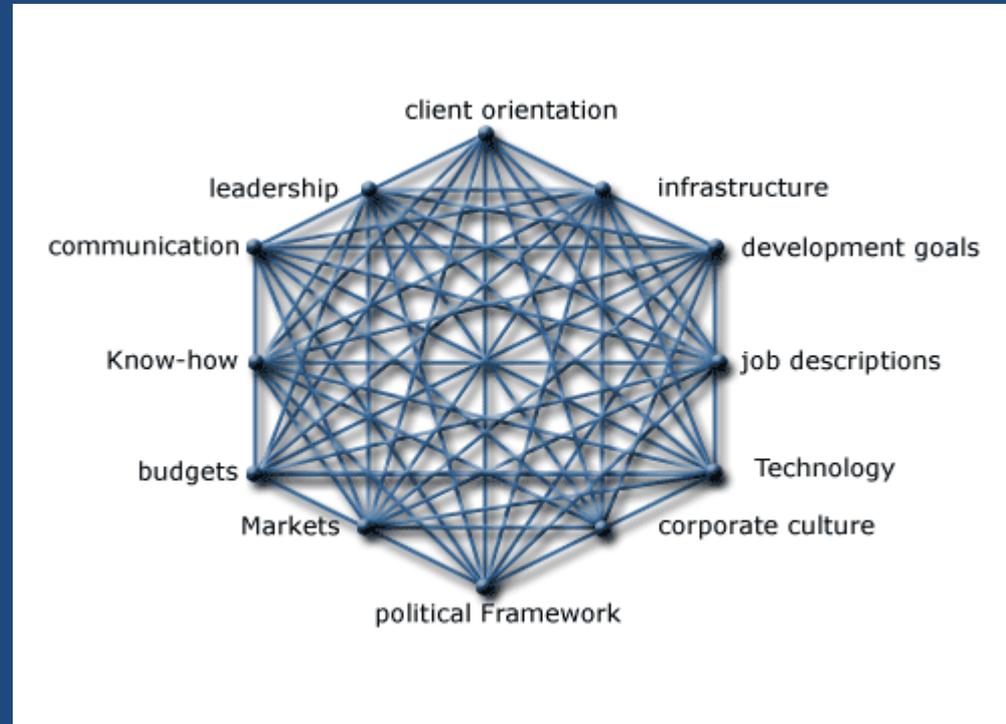
Fenômenos podem ser reduzidos a simples relações de causa e efeito

Acreditava-se na possibilidade de prever e controlar o futuro

Aumentar os níveis de controle sobre a natureza iria melhorar a nossa qualidade de vida

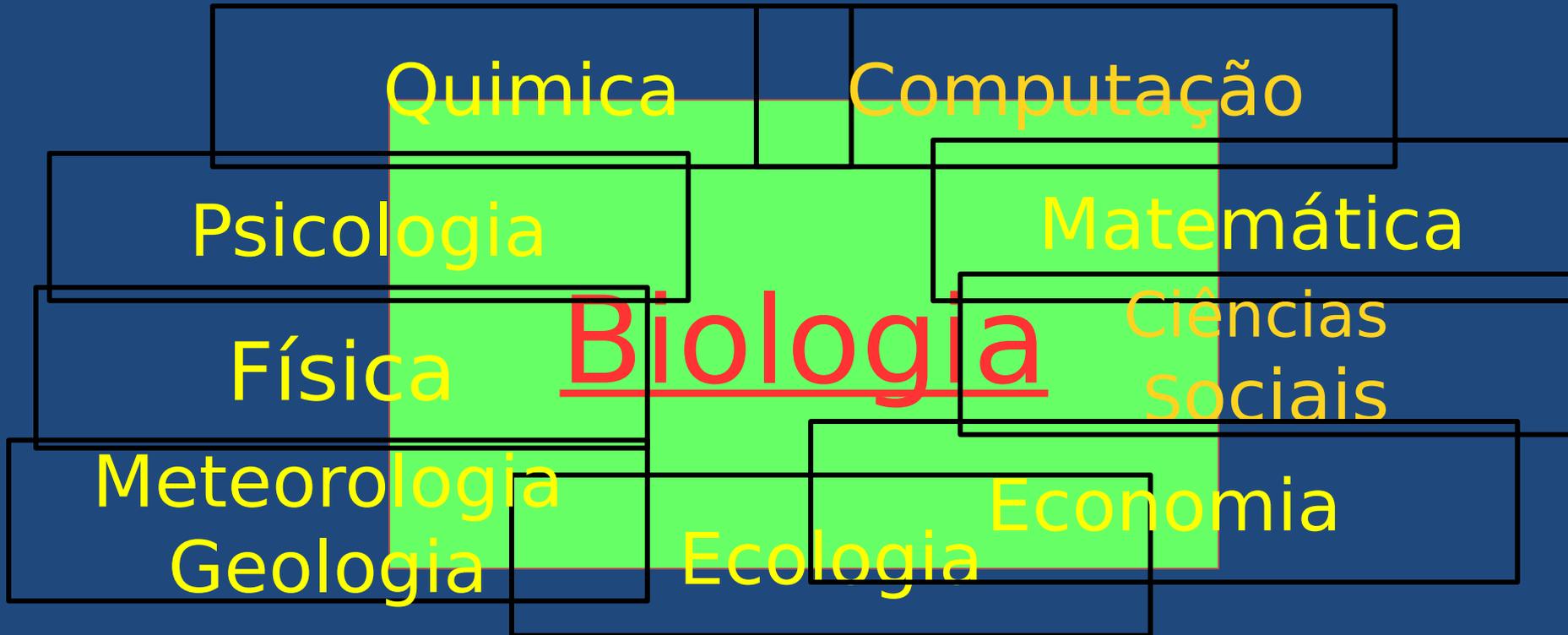
Muitos Aspectos Envolvidos!

Muitos estudos têm examinado separadamente aspectos individuais do modelo, no entanto, analisar os sistemas sociais complexos requer estudar não apenas os seus componentes, mas também como elas estão relacionadas (Ostrom, 2009).



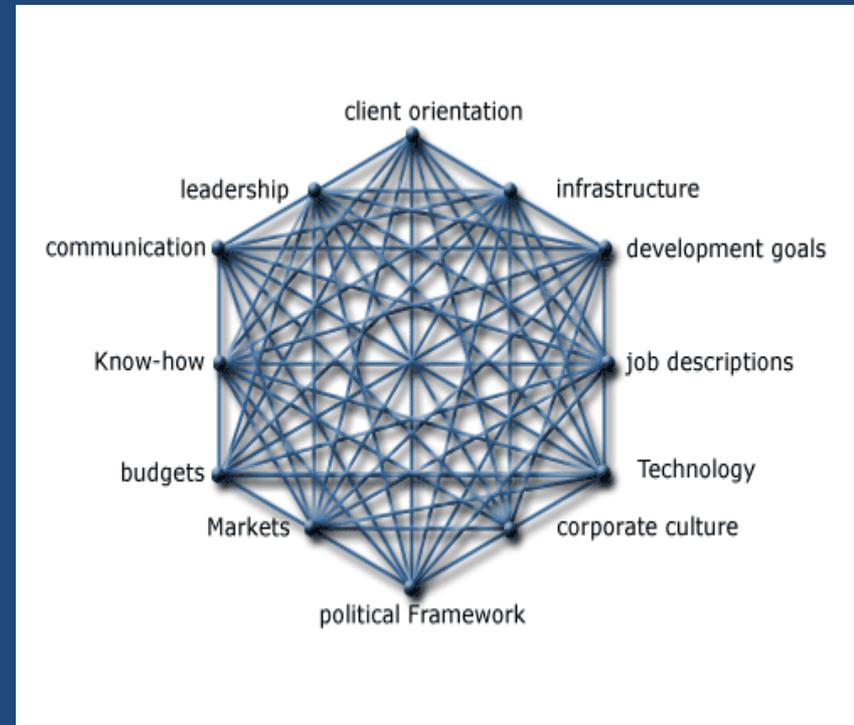
Surpreendente Convergência de Disciplinas

A Modelagem de Sistemas Complexos permite **desenvolver uma linguagem comum da interface entre Física, Computação, Ciências Biológicas e Sociais** sendo capaz de promover a exploração direta destas novas técnicas e analogias. **Sistemas complexos: uma abordagem interdisciplinar**



Ferramentas x Sistemas Complexos

- ❑ Teoria de Jogos
- ❑ Redes Complexas
- ❑ Autômato celular
- ❑ Inteligência Artificial
- ❑ Mecânica Estatística
- ❑ Inferência Bayesiana
- ❑ Teoria da Informação
- ❑ Softwares: python, C++, R, matlab, netlogo, etc...





Fim

"Nós não herdamos o mundo de nossos antepassados -tomamos emprestado de nossos filhos ".

- Provérbio Kashmiri

Obrigado!!!