

**EACH**



Escola de Artes, Ciências e Humanidades  
Universidade de São Paulo

# **Modelagem de Sistemas Complexos: ABM**

Fernando Fagundes Ferreira



## Modelagem Baseada em Agentes

Fernando F. Ferreira  
EACH-USP

# Modelos Baseados em Agentes

O que é um modelo?

É uma representação simplificada de um sistema real cujo Objetivo é capturar o que tem de mais relevante para explicar ou reproduzir ou prever um padrão ou fenômeno.

*A tarefa de construir um modelo pressupõe um objetivo. O modelo pretende capturar pelo menos um aspecto da realidade que seja de interesse. Assim como um mapa, a escala é importante.*

*O Melhor modelo para o Universo é o próprio Universo*

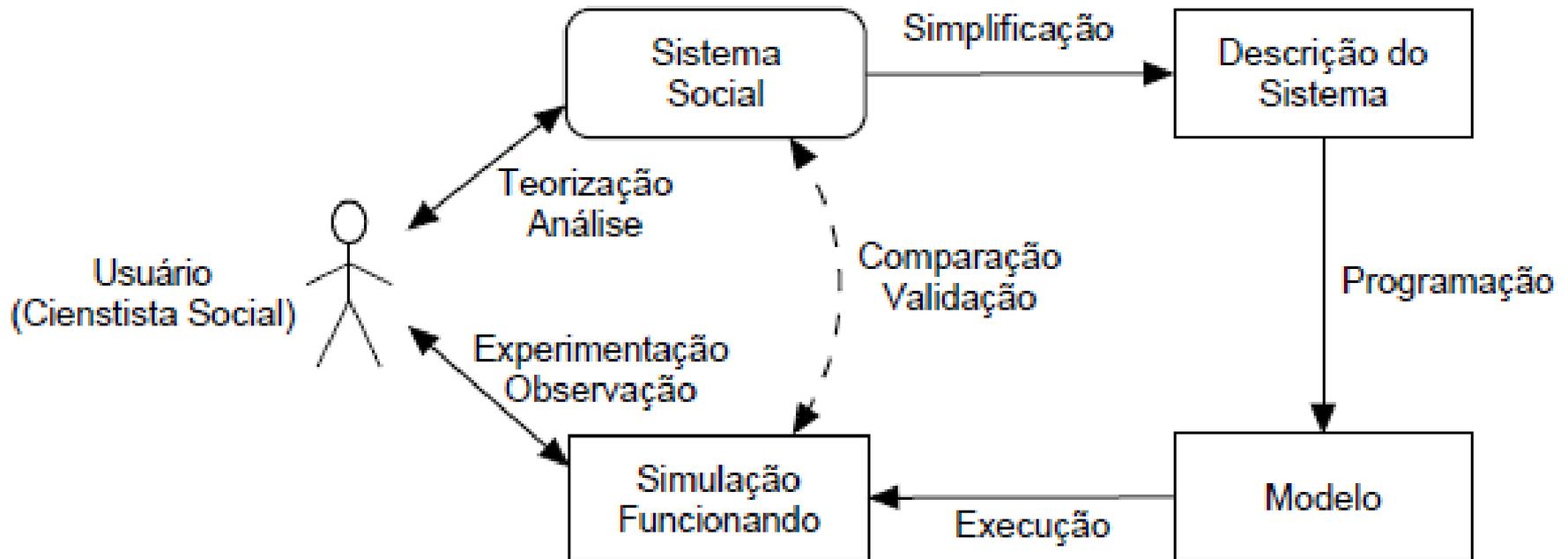


# Por que modelar?

- a) oferecer uma melhor descrição quantitativa do sistema e seus resultados experimentais;
- b) Para fazer previsão (comportamentos ou valores)
- c) Para explicar um fenômeno ou mecanismo
- d) Para nortear a coleta de dados
- e) Para fazer novas analogias
- f) Para ter novos insights (Para projetar experimentos)
- g) Fazer análise crítica de hipóteses e compreender mecanismos naturais envolvidos
- h) Para construir teorias
- i) Para superar as limitações



# Simulação



O que é uma simulação?

Simulação consiste em um algoritmo implementado em uma linguagem de máquina e pode ser visto como uma tecnologia computacional para testar hipóteses ou uma espécie de laboratório virtual. Ela mimetiza o sistema real.

# ⋮⋮⋮ Modelo Baseado em Agentes

- Modelos baseados em agentes podem ser utilizados para simular fenômenos reais por meio da construção de **entidades (agentes) computacionais individuais** com **propriedades específicas** e regras simples de **interações** .
- Um agente apresenta um **comportamento** que é consequência de suas **percepções** sobre o **ambiente** e de suas **interações com outros agentes**.
- Das interações entre muitos agentes podem emergir fenômenos globais ou comportamentos coletivos: divisão do trabalho, inteligência, etc...
- Assim, empregam-se agentes computacionais para estudar a emergência dos fenômenos coletivos a partir dos comportamentos individuais nos casos em que não é possível compreendê-los de maneira dedutiva ou analítica.
- Com o uso de agentes computacionais pode-se buscar compreender as estruturas complexas observadas em sistemas sociais, biológicos, etc.



# Agentes

- São modelos computacionais em que a unidade básica que interage são chamados agentes. Eles podem ser indivíduos, animais, empresas, células, vírus, automóveis, etc. Estes agentes são heterogêneos em algum aspecto e seguem um conjunto de regras ou comportamentos.
- Um agente é uma entidade artificial (objeto ou programa de computador) capaz de controlar suas próprias ações e tomar decisões baseada na sua percepção do meio ambiente e social na busca de um ou mais objetivos.

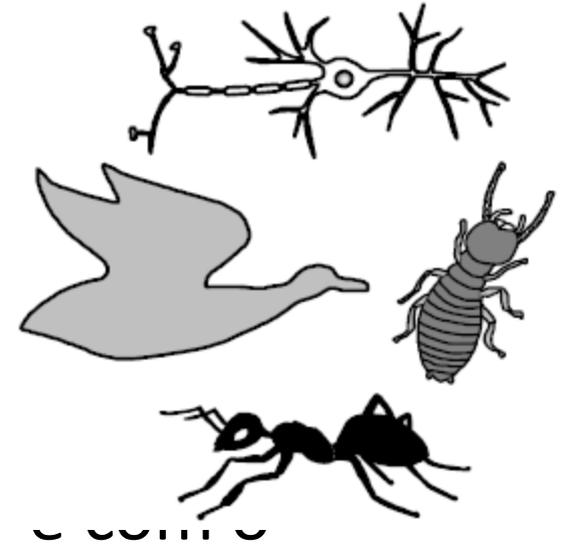
***No caso mais geral, ABM consiste de entidades de vários tipos dotados de memória e capacidade cognitiva limitadas cujos comportamentos são interdependentes (networks)***



# Modelo Baseado em Agentes

## os agentes se caracterizam por

- Estado
- Comportamento
- Relacionamento com outros agentes e com o ambiente (interação)
- Autonomia
- Racionalidade e memória (vários níveis)
- Capacidade de Aprendizado ou Adaptação





# Modelo Baseado em Agentes: a interação

Interações **físicas**: gravidade, elétrico-magnética, nuclear, molecular

Interações **biológicas**: reprodução, predação, competição, simbiose, parasitárias, cooperação...

Interações por **conectividade**: contato direto como redes sociais, sistema imunológico, redes neurais, redes de transporte....

Interações por **Estigmergia**, ou seja, sem contato direto, mediado pelo meio. Exemplo: colônias de cupins, formigas...

O comportamento individual modifica o ambiente, que por sua vez modifica o comportamento individual (**interação social indireta**).

Exemplo, formigas utilizam o ferormônio para se comunicar.



# Modelo Baseado em Agentes: adaptação via aprendizagem

## Aprendizagem

- A aprendizagem corresponde ao ato, processo ou experiência de adquirir conhecimento, compreensão, capacidade e habilidade, através de experiência, estudo, ou interações.
- Sistemas que sofrem aprendizagem são geralmente aqueles capazes de se adaptar ou mudar seu comportamento baseado em exemplos, de forma a manipular informações.



# Modelo Baseado em Agentes: adaptação via evolução

- A teoria da Evolução é um conjunto de mecanismos que explicam
- as mudanças de espécies no tempo e no espaço.
- Um deles é a chamada seleção natural:
  - reprodução*
  - hereditariedade*
  - variabilidade*
  - aptidão (fitness).*

# Retroalimentação



## **Realimentação positiva**

- É um tipo de processo de auto-reforço (ou crescimento) no qual quanto mais um evento ocorre, mais ele tende a ocorrer.
  - Exemplos: agrupamento de corpos em colônias de formigas, construção de ninhos de cupins, resposta imunológica, reprodução humana, avalanche, etc.

## **Realimentação negativa**

- A realimentação negativa opera como um regulador para a realimentação positiva de forma a manter um equilíbrio (dinâmico) do meio.
- A ausência de mecanismos de realimentação negativa resultaria em sistemas instáveis ou na extinção de recursos.
  - Exemplos: ecossistemas, homeostase, metabolismo, termostato, etc.



# Modelo Baseado em Agentes: adaptação via auto-organização

- A auto-organização se refere a um amplo processo de formação de padrões em sistemas físicos e biológicos.
  - Exemplos: formas em dunas de areia, ondas produzidas por uma torcida de futebol, reações químicas formando espirais, etc.
- A formação de padrões em sistemas auto-organizados ocorre através de interações

## Características de um Agente:

- Deve ser identificável, um indivíduo discreto com um conjunto de características e regras governando seu comportamento;
- Deve estar situado em um ambiente interagindo com outros agentes;
- Um agente deve ser orientado por objetivos;
- Ser autônomo;
- Ser flexível com a habilidade de aprender.

*Macal e North (2005)*

## Existe um roteiro para se fazer um ABM?

Tem várias propostas para se estabelecer protocolos. Em geral, cada pesquisador é livre para usar seu conhecimento sobre o funcionamento do sistema e sua criatividade para propor um modelo.

Para quem quiser seguir um protocolo, pode-se recorrer ao ODD

**Overview** (Purpose; Entities, State Variables, and Scales; Process overview and scheduling),

**Design Concepts** (Basic principles; Emergence; Adaptation; Objectives; Learning; Prediction; Sensing; Interaction; Stochasticity; Collectives; Observation),

**Details** (Initialization; Input data; Submodels).

Grimm, Volker, et al. "The ODD protocol: a review and first update.

"*Ecological modelling* 221.23 (2010): 2760-2768.

## ••• Modelo de Compra e Venda com Assimetria de Informação

- O modelo consiste de  $N_s$  vendedores e  $N_b$  compradores
- Eles se encontram aleatoriamente no tempo  $t$  (random matching)
- O vendedor informa que a qualidade do produto é  $k$
- O comprador avalia a qualidade  $q_i$  esperada segundo a expressão

$$q_i = \beta k + (1 - \beta)k_a$$

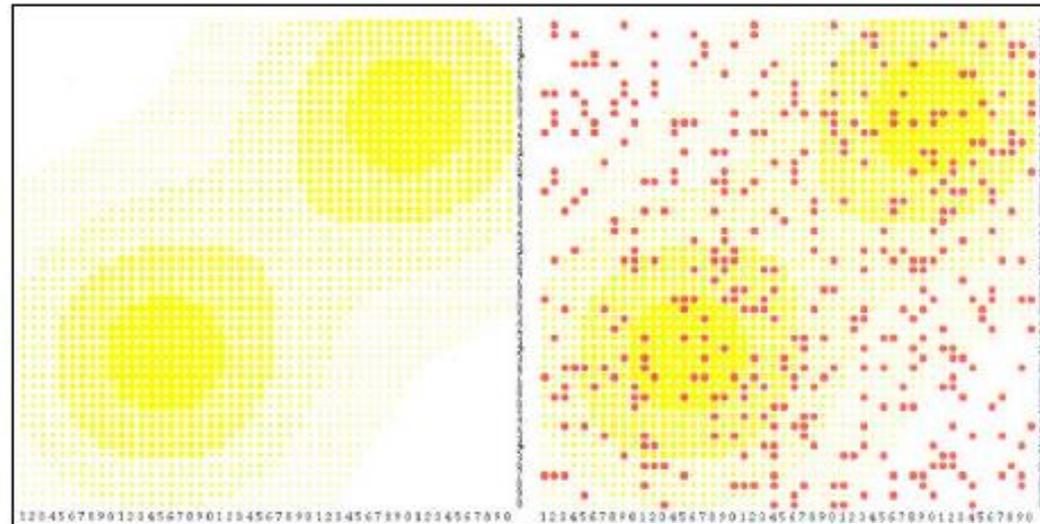
onde  $k_a$  é a qualidade do último item adquirido/comprado e  $\beta \in (0,1)$   
Suponha que existe uma função que escreve o valor a partir da qualidade,  $V(q)$ . A transação ocorre

$$V^b(k; k_a^{(i)}) \geq V^s(k).$$

## MODELO SUGARSCAPE

Epstein & Axtell ([1996](#))

- Distribuição espacial de um recurso(s) necessário(s) para a sobrevivência dos agentes
- O espaço é um grid 2D.
- Para cada célula é permitido conter apenas um agente.

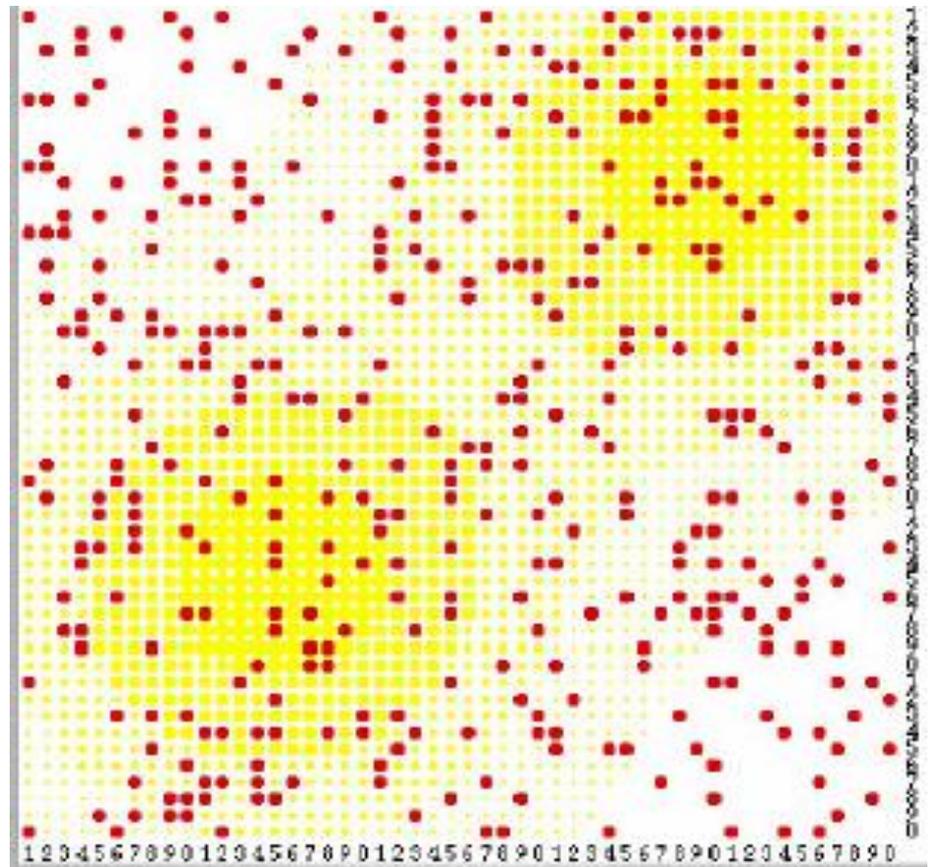


## MODELO SUGARSCAPE

Epstein & Axtell (1996)

### O espaço

- Cada célula contém uma certa quantidade de açúcar

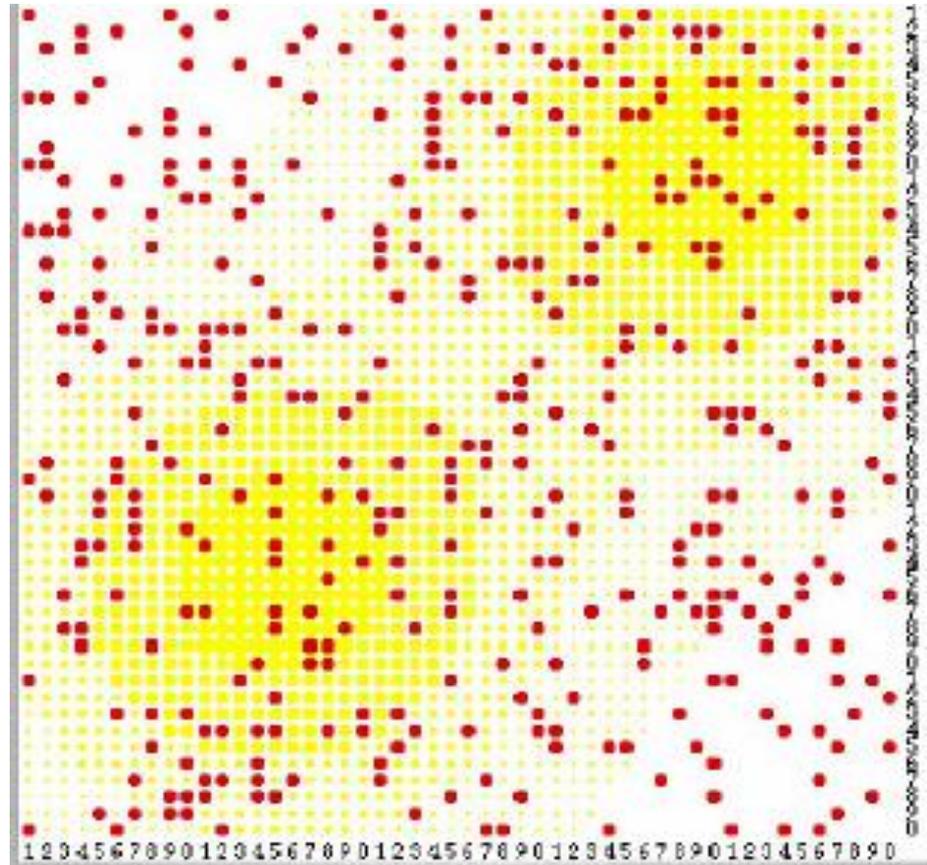


# MODELO SUGARSCAPE

Epstein & Axtell ([1996](#))

## O espaço

- Cada célula contém uma certa quantidade de açúcar, gerada aleatoriamente no início. Quanto mais escura a cor da célula, mais açúcar ela contém.
- Cada célula pode chegar a uma quantidade máxima de açúcar, valor predeterminado no início da simulação.
- A cada passo da simulação uma nova unidade de açúcar é criada

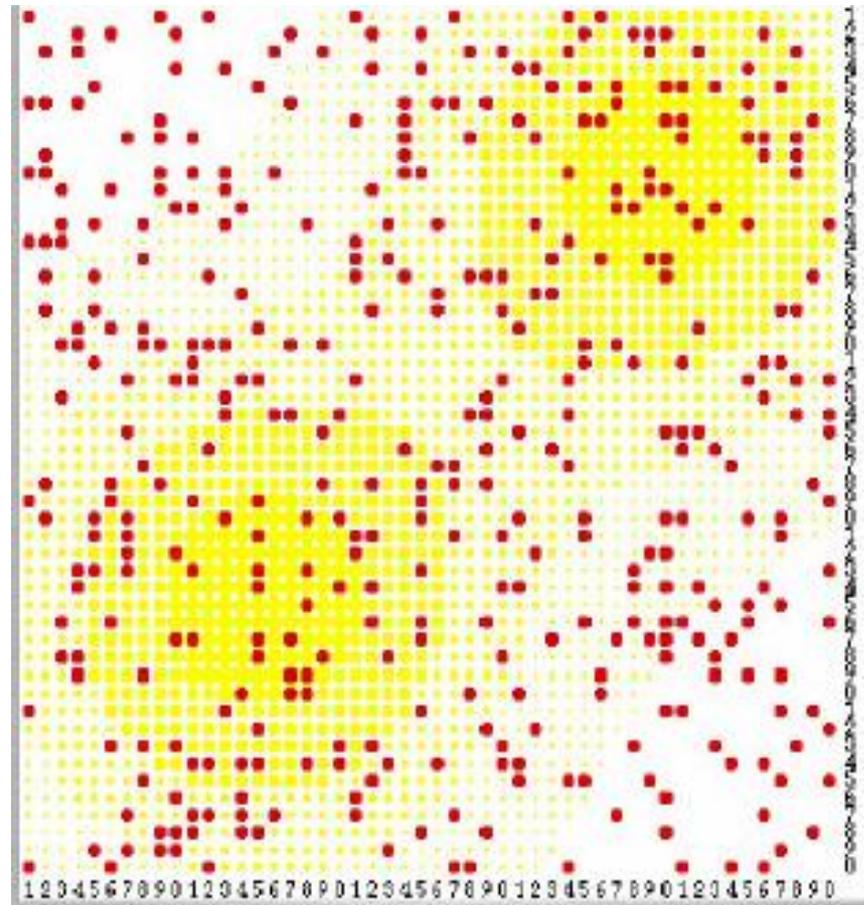


## Os agentes

# MODELO SUGARSCAPE

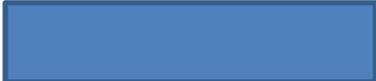
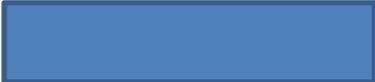
Epstein & Axtell ([1996](#))

- Coloque os agentes aleatoriamente no início em alguma célula.
- Cada agente possui um valor de metabolismo e uma visão (valor predeterminado no início da simulação).
- Ele gasta energia para se movimentar e sobreviver. Depende do metabolismo.
- A cada agente vive entre 60 e 100 passos. Quando ele morre, outro nasce (condições aleatórias)



## Regra básica regente no modelo:

- Olhe em sua volta tão longe quanto sua visão permite nas quatro principais direções e identifique a célula desocupada que tem a maior quantidade de açúcar;
- *Se o maior valor de açúcar aparecer em múltiplas células então selecione o mais próximo;*
- *Mova até a célula*
- *Colete toda a açúcar desta nova posição.*

- *Cada agente carrega o código genético do seu metabolismo e do seu nível de visão. (População heterogênea)*
  - *Metabolismo: Quantidade de açúcar queimado por passo de tempo, ou interação, de 1 a 4.* 
  - *Nível de visão: Valor da capacidade de visão do agente, de 1 a 6.* 

- *Cada agente nasce com uma quantidade de açúcar em seu depósito particular.*
  - *Açúcar comida e não queimada é armazenada no depósito.*
  - *Não existe limite de açúcar para o depósito.*

Para cada célula ■ açúcar se recompõe após o seu consumo pelo agente.

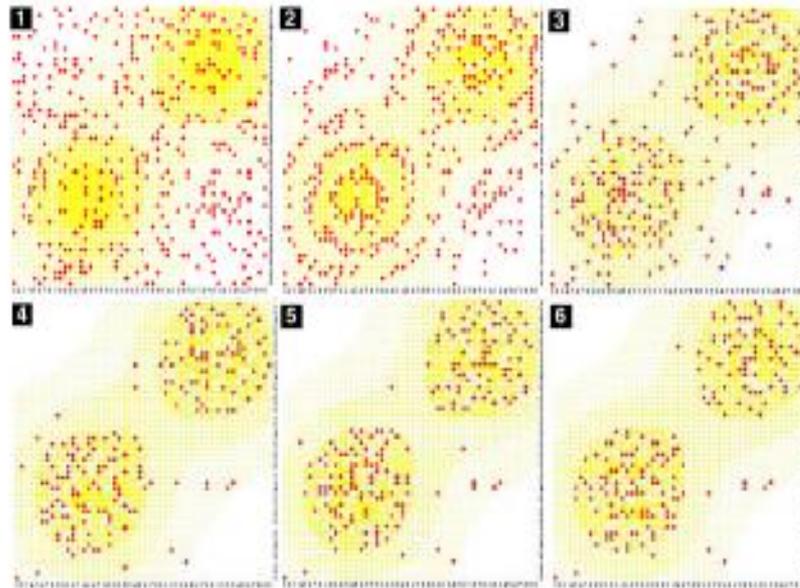
- *Quatro regras básicas para esta recomposição.*
  - *A açúcar se regenera instantaneamente para a capacidade máxima.*
    - $G^\infty$
  - *Se regenera através de uma taxa por unidade de tempo.*
    - $G_x$
  - *A sua recomposição depende do nível das células vizinhas.*
  - *A açúcar pode crescer com diferentes taxas em diferentes regiões.*

Lattice length $L$	50
Cells' sugar capacity distribution	See Figure 1
Growth rate $\alpha$	1
Number of agents $N$	250
Agents' initial wealth $w_0$ distribution	U[5,25]
Agents' metabolic rate $m$ distribution	U[1,4]
Agents' vision $v$ distribution	U[1,6]
Agents' maximum age <i>max-age</i> distribution	U[60,100]

**Table 1.** Model parameterisation.

## Regenera com taxa Gx: Seleção Natural

- Tendência de permanência dos agentes com baixo metabolismo e alta capacidade de visão.

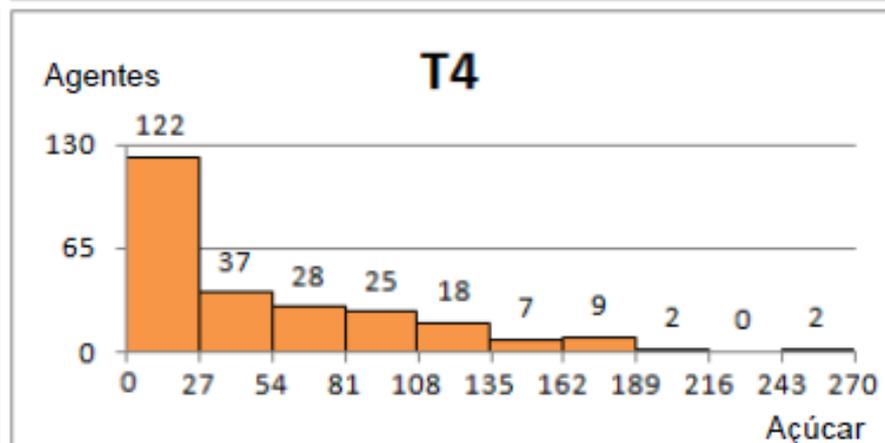
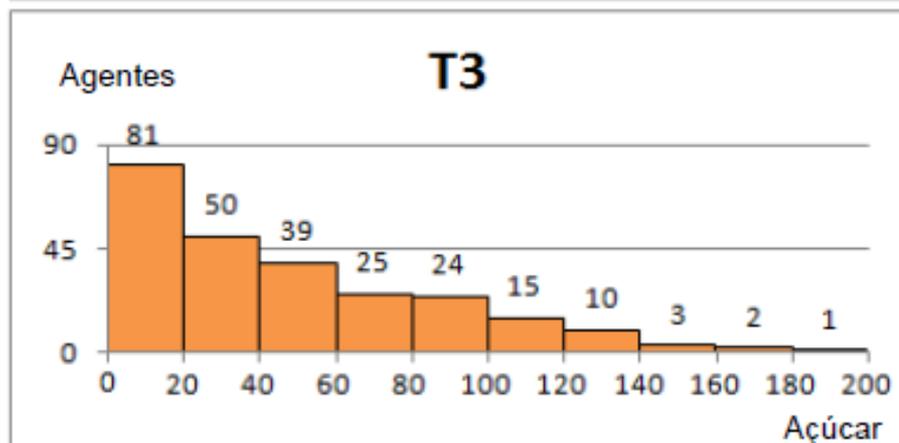
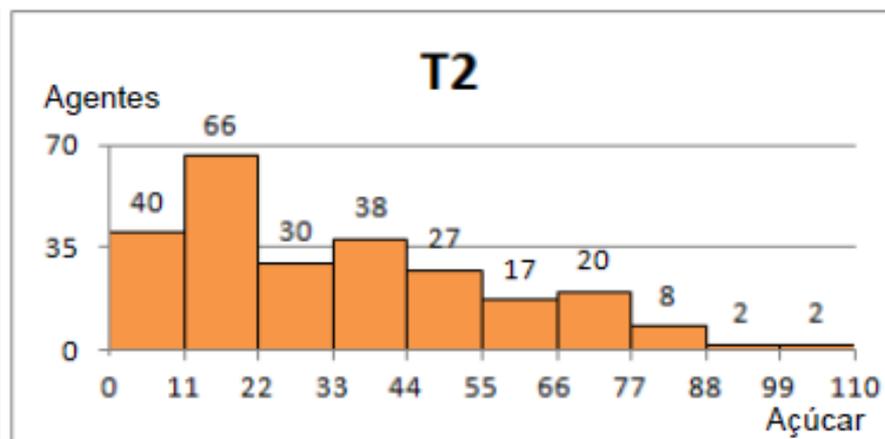
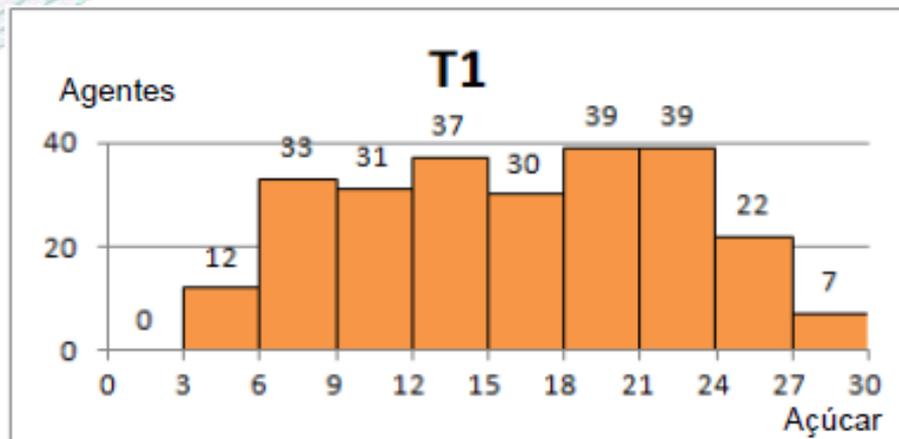


- Os agentes começaram com medias de visão e metabolismo de 3.5 e 2.5 após 500 interações a seleção incrementou a visão para 4.1 e reduziu a media do metabolismo para 1.8

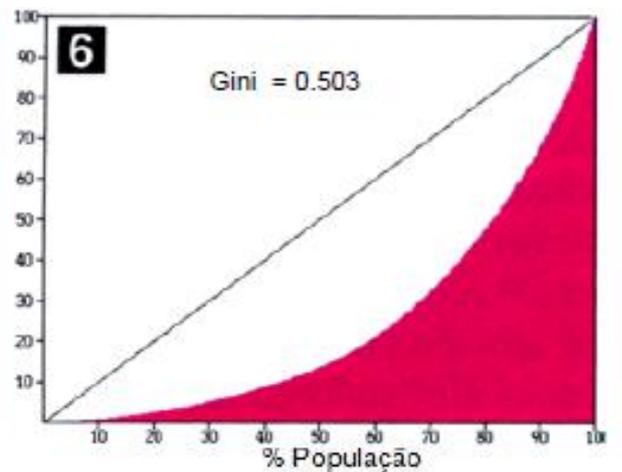
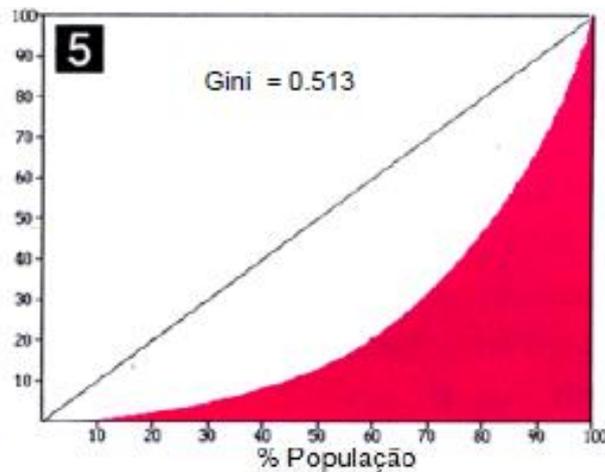
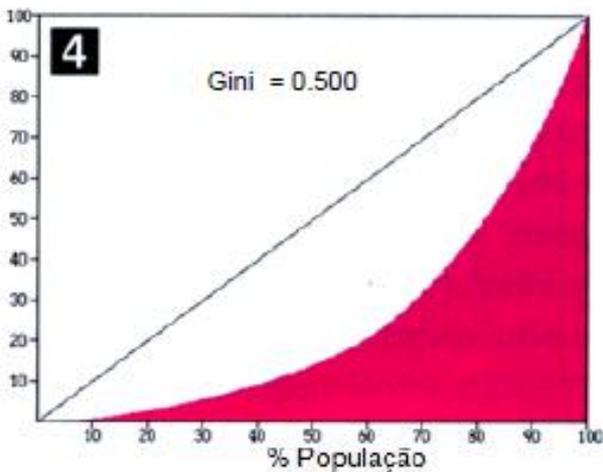
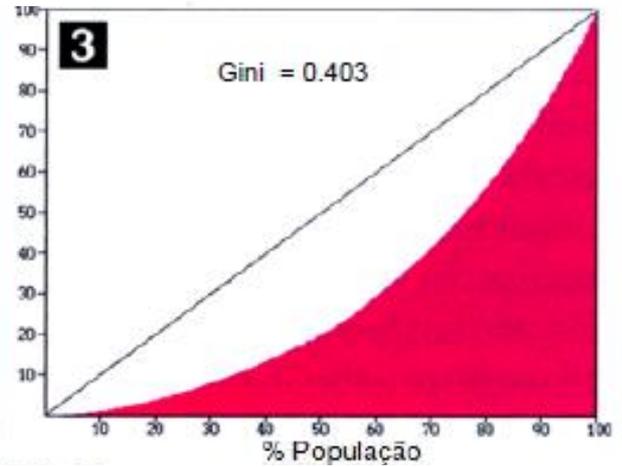
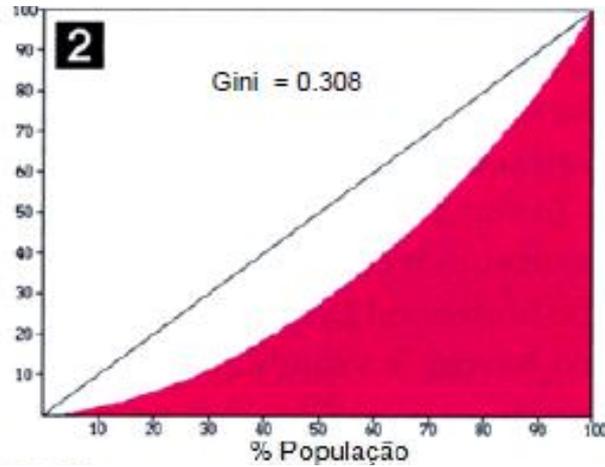
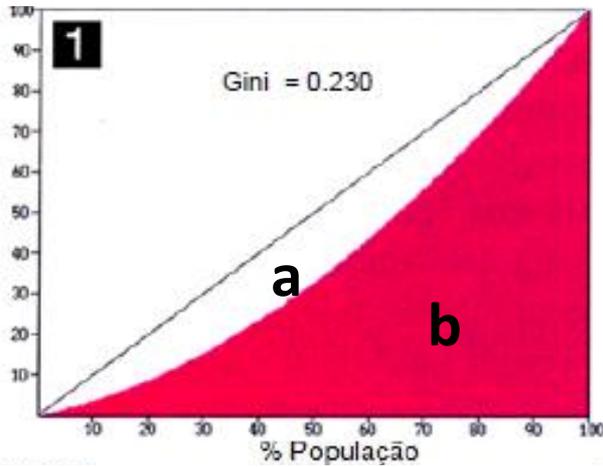
## Desigualdade na distribuição de saúde e riqueza

- Alteração nas regras dos agentes:
  - MORTE
    - Eles devem morrer de acordo com uma idade determinada aleatoriamente em um intervalo de  $[a,b]$
  - Substituição de agentes:
    - A cada morte um novo agente nasce com suas características genéticas, metabólicas e de posição geradas aleatoriamente.

## Riqueza



## Desigualdade na distribuição de riqueza



$$Gini = \frac{a}{a+b}$$

## **OUTRAS APLICAÇÕES DO SUGARSCAPE**

- **Reprodução;**
  - Regras de reprodução; processos culturais e de combate;
- **Comércio no Sugarscape;**
  - Regras de comércio; redes emergentes de comércio;
- **Doenças;**
  - Redes de transmissão de doenças; Respostas do sistema imunológico.



# Modelo Baseado em Agentes: Exemplos

## Modelo do Bar El Farol:

consiste em um modelo para descrever o comportamento coletivo de  $N$  pessoas (agentes) que frequentam um bar com capacidade para 60 lugares sentados.

Os agentes gostariam de ir ao bar e sentar para ouvir música. Toda quinta-feira ao entardecer, eles precisam decidir se vão ao bar ou se vão para casa.

### *Propriedades:*

Os agentes tem memória (lembam as **m** semanas passadas mais recentes ). Eles tem racionalidade limitada (usam **S** estratégias para tomar decisões). O aprendizado se dá por meio de uma função chamada **payoff** que contabiliza a diferença entre o número de vezes que tomou a decisão certa contra número de vezes que tomou a decisão errada. Ele escolhe aquela estratégia com maior pontuação.



# Modelo Baseado em Agentes

## O Jogo da Minoria

<b>Decisões</b>	$a_i = 0$ ou $1$
<b>Memória</b>	guarda $m\_bits$ mais recentes
<b>Informação</b>	vetor que contem os $m\_bits$
<b>Estratégias</b>	prescreve a decisão a ser tomada mediante o padrão informacional dado pelo mercado.
<b>Payoff</b> 	adiciona um ponto as estratégias que levam os agentes ao grupo da minoria soma zero, caso contrário.
<b>Output:</b>	valor Agregado é definido como soma das decisões individuais $a_i$ .



# Modelo Baseado em Agentes

Estratégia 1 individuo i

padrão	decisão
00	+
01	-
10	-
11	+

Payoff<sub>i,1</sub>=100

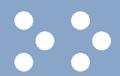
Variação do preço: 10101010101

Decisão:  $a_{i,1} = -1$

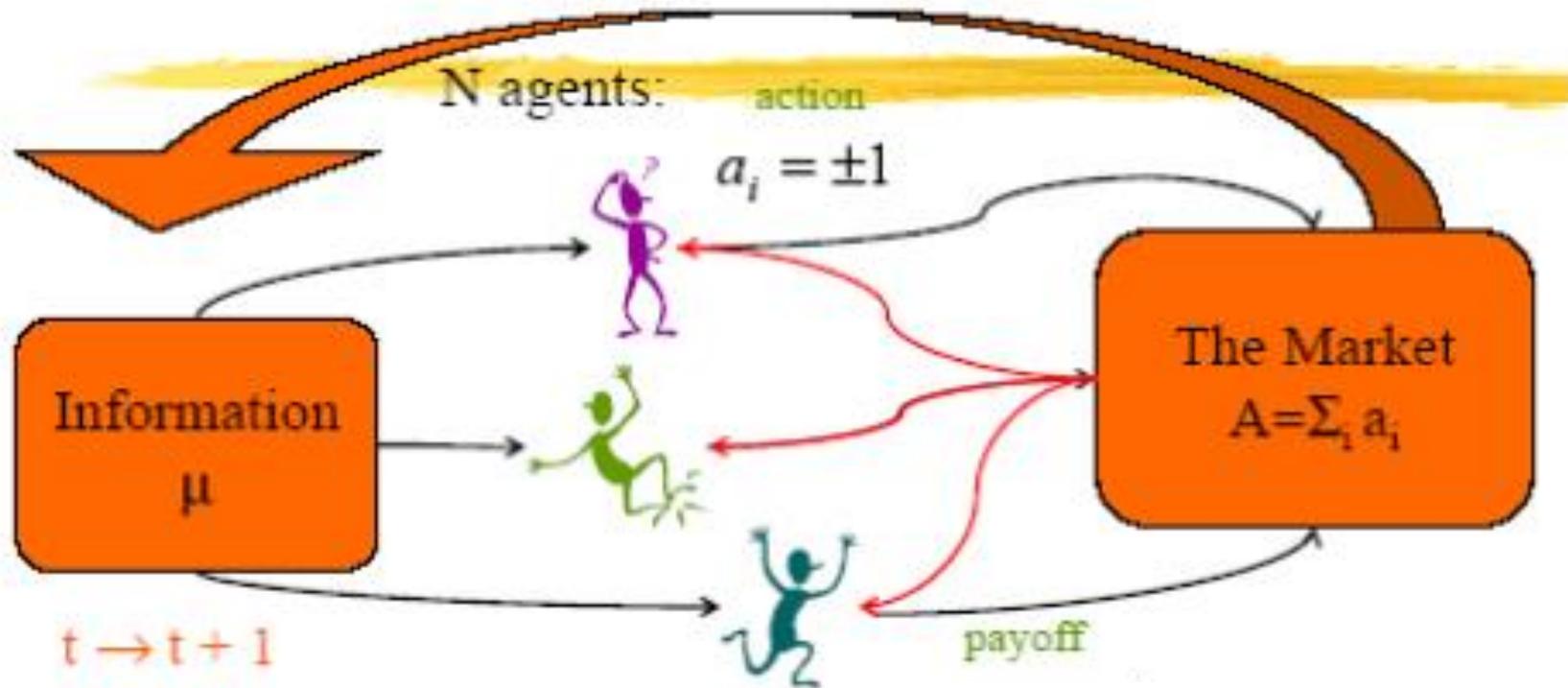
Estratégia 2 individuo i

padrão	decisão
00	-
01	+
10	-
11	+

Payoff<sub>i,2</sub>=71



# Modelo Baseado em Agentes



$$U_{i,s}(t+1) = U_{i,s}(t) - a_i A$$



# Modelo Baseado em Agentes

## Qual o Mecanismo de Mercado ?

$$\text{Payoff}(s,t+1)=\text{Payoff}(s,t) -a(s) A(t)$$

**Jogo da Minoria**

$$\text{Payoff}(s,t+1)=\text{Payoff}(s,t) +a(s) A(t)$$

**Jogo da Maioria**

$$\text{Payoff}(s,t+1)=\text{Payoff}(s,t) +a(s) A(t+1)$$

**Dollar Game**

Número de Jogadores podem variar

**Grande Canônico**

# Mercado Financeiro: **Fatos Estilizados**

1. Ausência de autocorrelação no retorno
2. Memória na autocorrelação da volatilidade
3. Caldas Pesadas (kurtosis)
4. Aglomerado de Volatilidade
5. Gaussianidade Agregada
6. Assimetria Ganho Perda
7. Efeito Alavanca
8. Correlação negativa Volatilidade e Volume
9. Multifractalidade

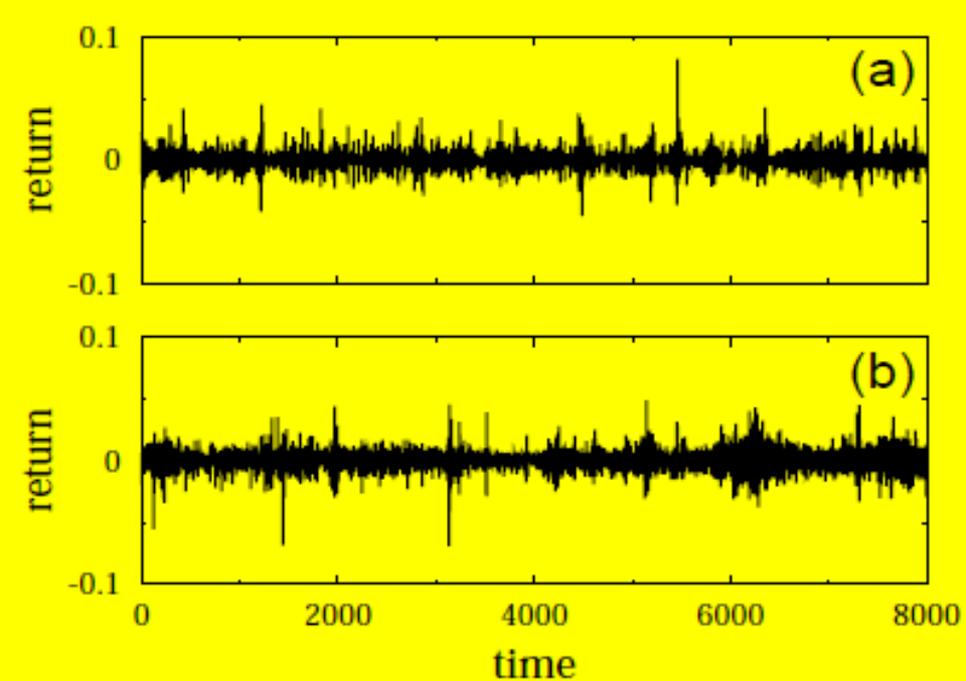


FIG. 4. Snapshot of the dynamics for  $n_s = 300$ ,  $n_p = 10$  ( $P = 32$ ) and  $\epsilon = 0.01$ . The price  $p(t)$  (top) and speculators contribution to the volume  $Pn_s^{\text{act}}$  (bottom) is shown.

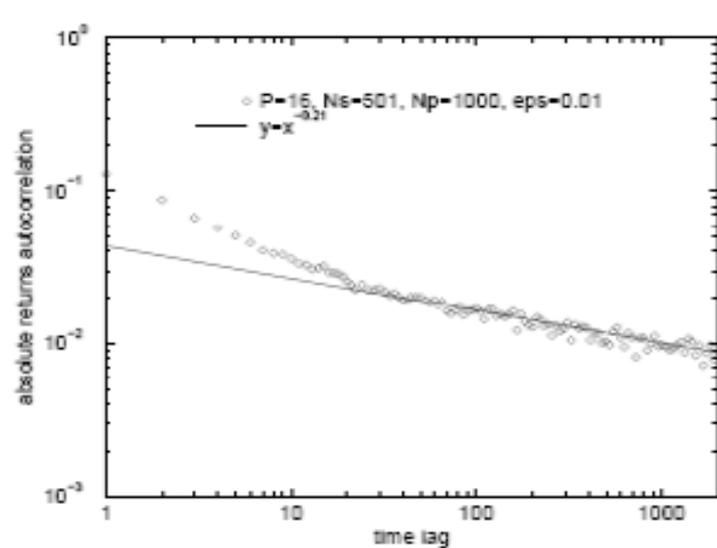
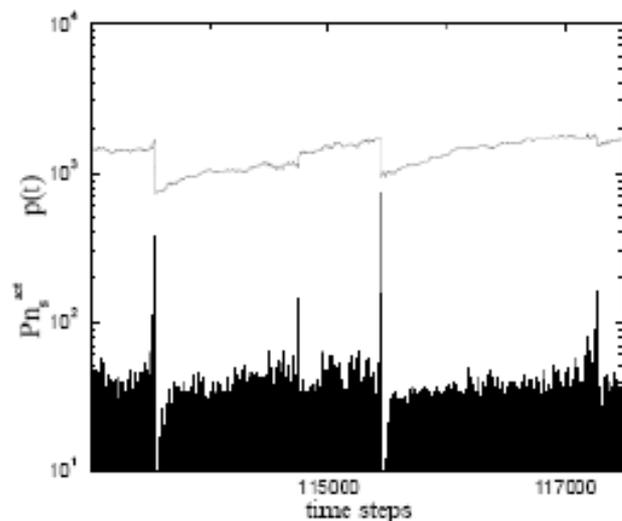


FIG. 6. Autocorrelation of the absolute returns ( $P = 16$ ,  $N_s = 501$ ,  $N_p = 1000$ ,  $\epsilon = 0.01$ ). The straight line has a slope of  $-0.21$ .

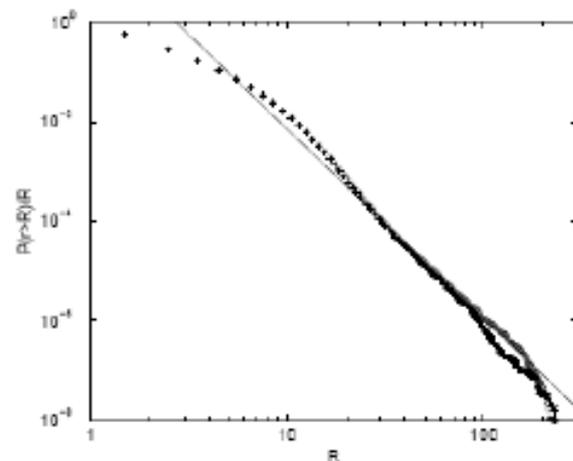


FIG. 7. Cumulative function of the returns  $R$  divided by return  $R$  (circles: positive returns,  $\times$ : negative returns) ( $P = 16$ ,  $S = 2$ ,  $N_s = 1001$ ,  $N_p = 1200$ ,  $\epsilon = 0.01$ ); the straight line has a slope of  $-3.8$ , close to the one observed in financial markets.