

# Cooperação, punição e governo: Uma visão evolutiva

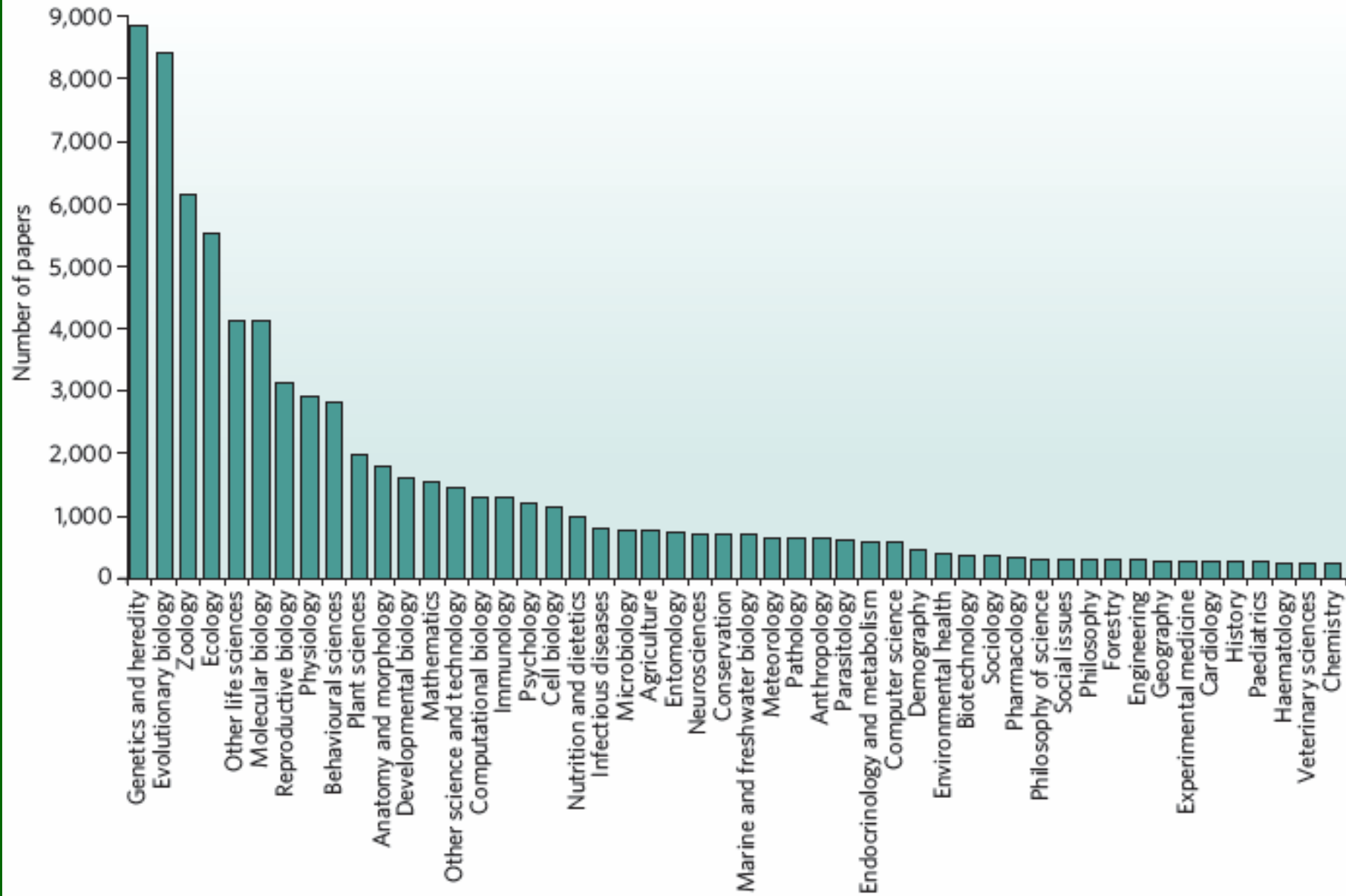
Rui Vilela Mendes

<http://label2.ist.utl.pt/vilela/>



**Academia das Ciências**  
**Colóquio Darwin**

# Seleção natural (no ISI)



# Índice

- 1 – Teoria dos jogos. Equilíbrio de Nash
- 2 – Desvios do equilíbrio de Nash em jogos humanos
- 3 – Aspectos evolutivos do comportamento humano
- 4 – Os fundamentos neurológicos
- 5 – Referências

# 1 – Teoria dos jogos

- **Teoria dos jogos:** *Estudo de problemas de decisão interpessoais que afectam o bem estar de cada um*
- **Economia, Biologia, Ciências Sociais, Comunicação**
- **Mecanismo:** *Cooperação ou competição com o objectivo de alcançar o melhor objectivo possível (do ponto de vista cooperativo ou individual)*

# 1 – Teoria dos jogos – Equilíbrio de Nash

- $(s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_n)$  é um equilíbrio de Nash se  $G(s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_n) > G(s_1, s_2, \dots, s_k', \dots, s_n)$  para todas as estratégias  $s_k'$
- *Nenhum jogador aumenta o seu ganho mudando a sua estratégia, se as estratégias dos outros jogadores estiverem fixas*
- **Teorema:** (Nash) *Todo o jogo de N jogadores tem pelo menos um equilíbrio, com estratégias puras ou mistas*
- **Em economia:** equilíbrio de Nash é equivalente ao conceito de decisão racional (Homo Oeconomicus)

# 1 – Teoria dos jogos – Equilíbrio de Nash

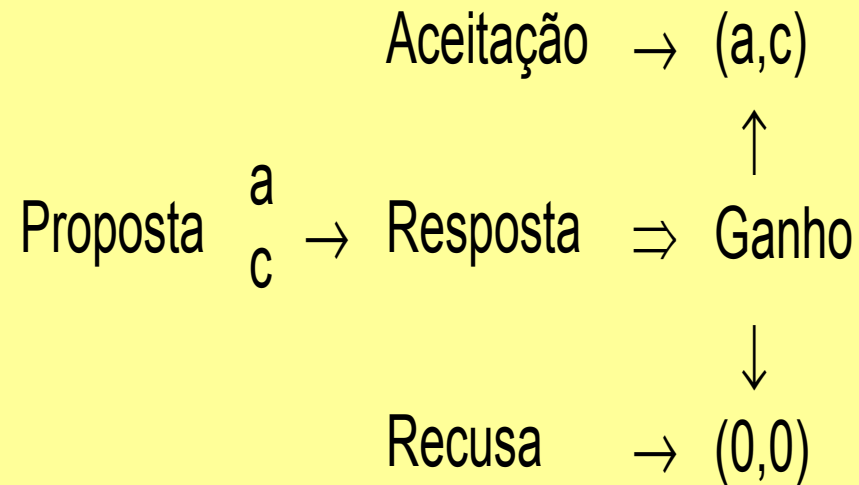
- *Fornece uma base sólida para (quase) toda a teoria económica*
- *Dada a importância do equilíbrio de Nash e seus derivados (equilíbrio social – Debreu, etc) para as ciências sociais seria conveniente que quando jogados por humanos os jogos convergissem para o equilíbrio de Nash*
- *Porém em geral não convergem*

## 2 – Teoria dos jogos experimental. Desvios do equilíbrio de Nash

- ◆ O jogo do ultimato
- ◆ O jogo dos bens públicos (com e sem punição)
- ◆ O jogo do ditador
- ◆ O jogo da troca de presentes
- ◆ O jogo da punição por terceiros
- ◆ O jogo da confiança



# O jogo do ultimato



(Exemplo:  $a=99$ ,  $c=1$ ,  
 $b=50$ )

	R0	R1
P0	$(a,c)$	$0,0$
P1	$b,b$	$0,0$

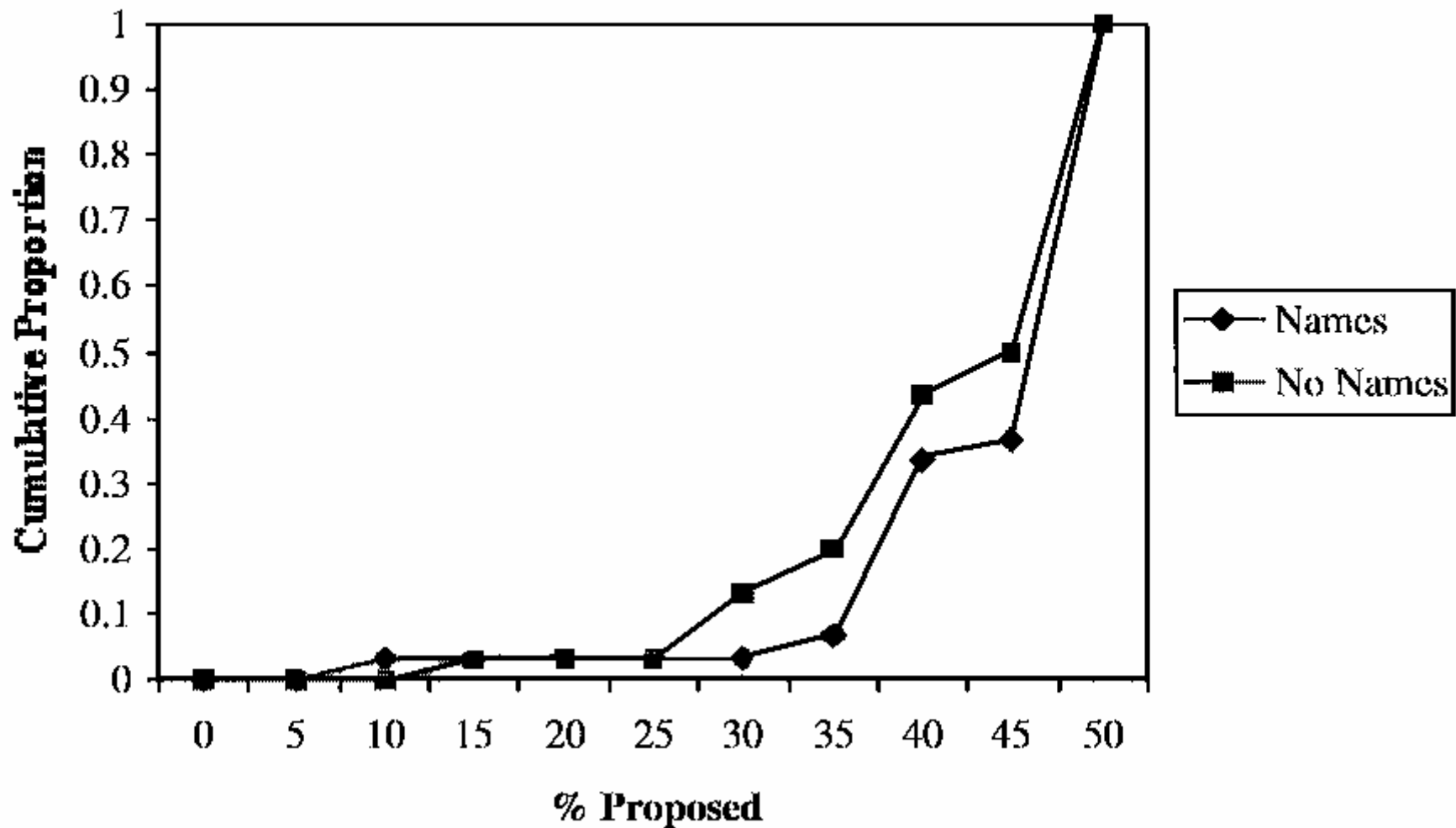
Preço monopolista  
dum bem perecível





# O jogo do ultimato

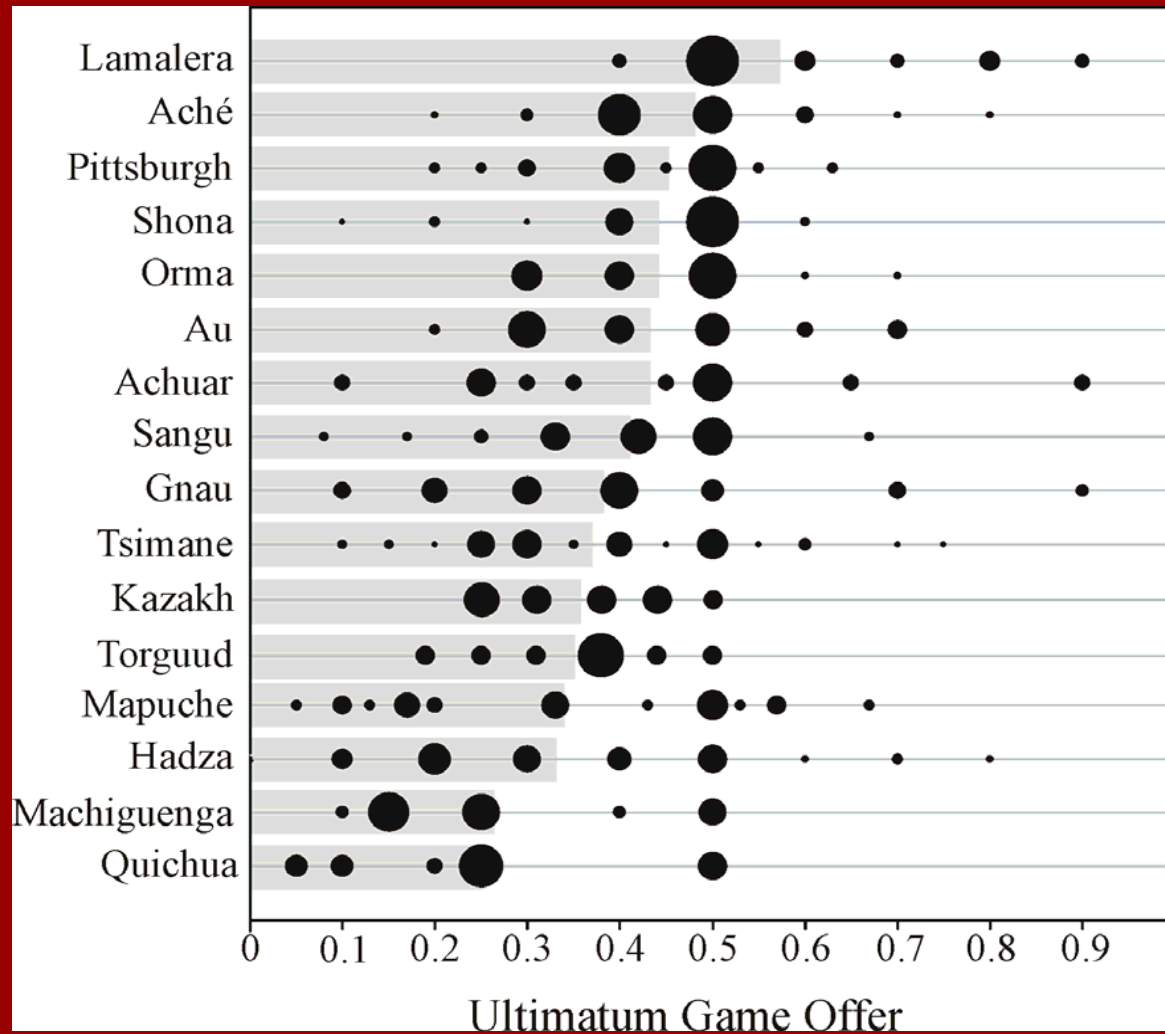
Figure 2 - Cumulative Ultimatum Proposals



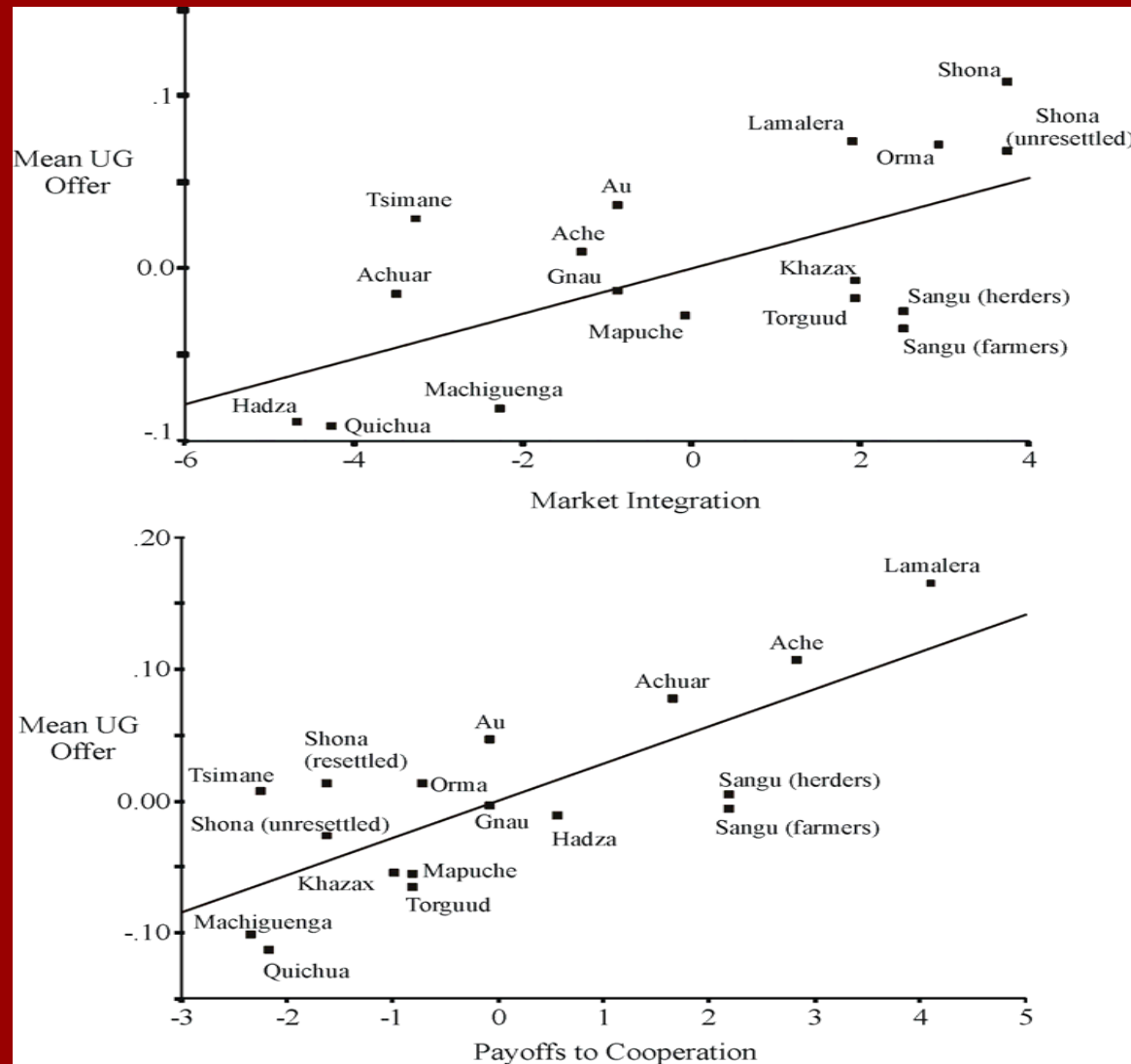
# O jogo do ultimato



# O jogo do ultimato



# O jogo do ultimato



Ofertas generosas estão correlacionadas com integração de mercado e cooperação na vida diária

# O jogo do ultimato

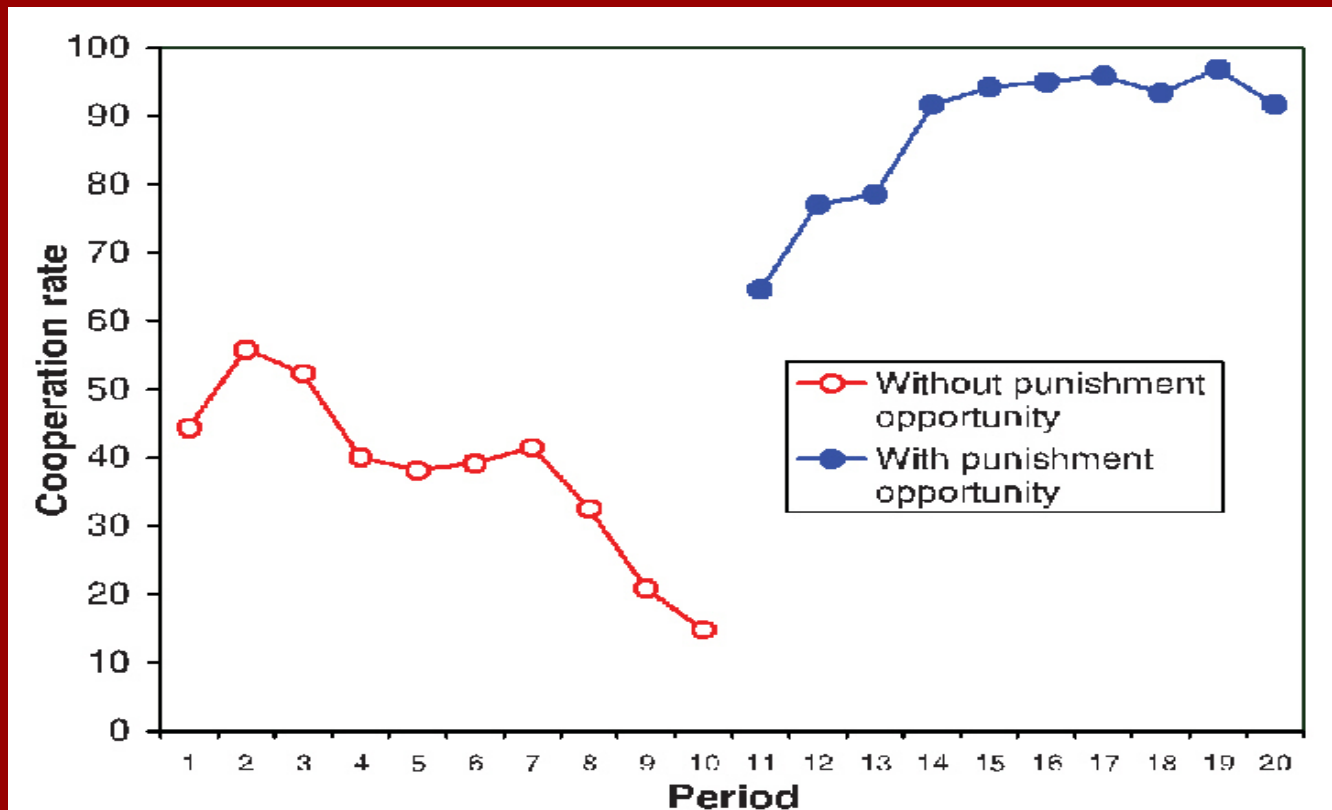
- ◆ Porém com um proponente e vários respondedores ou com vários proponentes e um respondedor os resultados são mais próximos do equilíbrio de Nash
  
- ◆ Porquê ?

# O jogo dos bens públicos

$N$  jogadores com uma dotação  $y$  decidem a sua contribuição  $g$  para o bem público. O seu ganho final será:  $p_i = y - g_i + m \sum g_k$

Equilíbrio de Nash  $g_i = 0$  ( $m < 1 < mN$ )

(Produção cooperativa, uso de recursos)

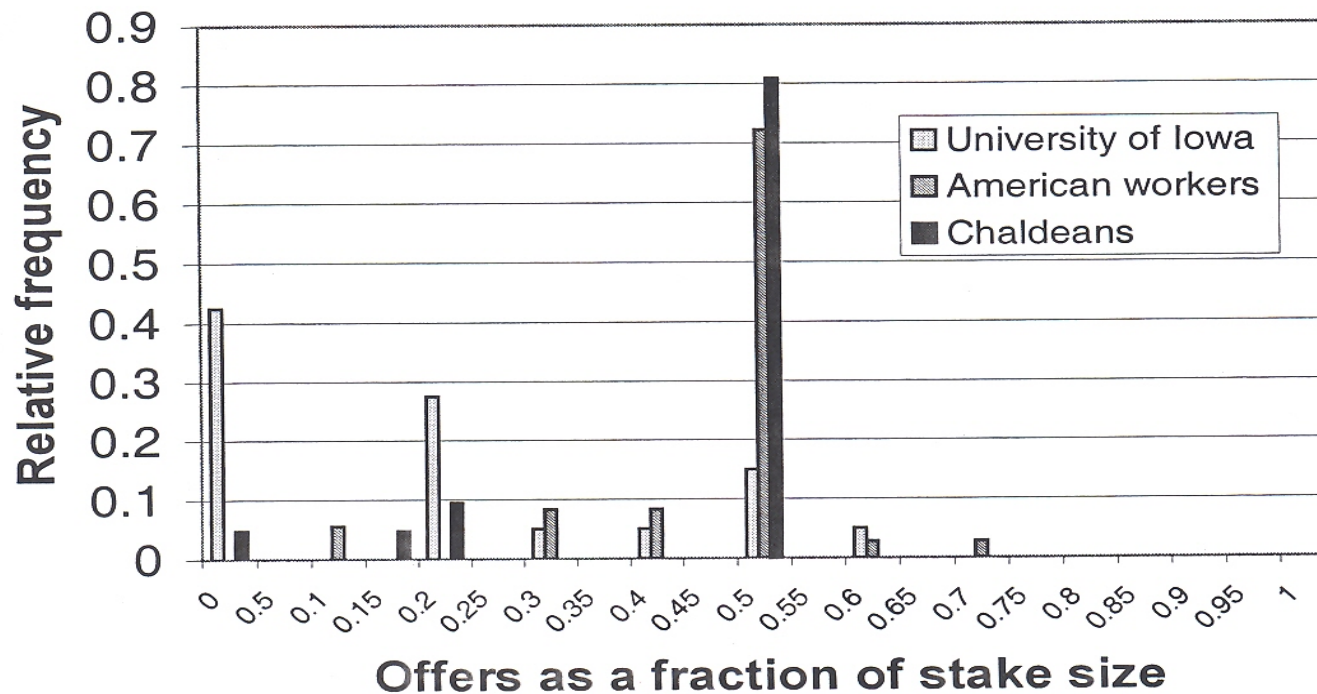


# O jogo do ditador

Tal como no jogo do ultimato mas sem a possibilidade de recusa do respondedor

Equilíbrio de Nash  $x=0$

(Dádivas anónimas a estranhos)



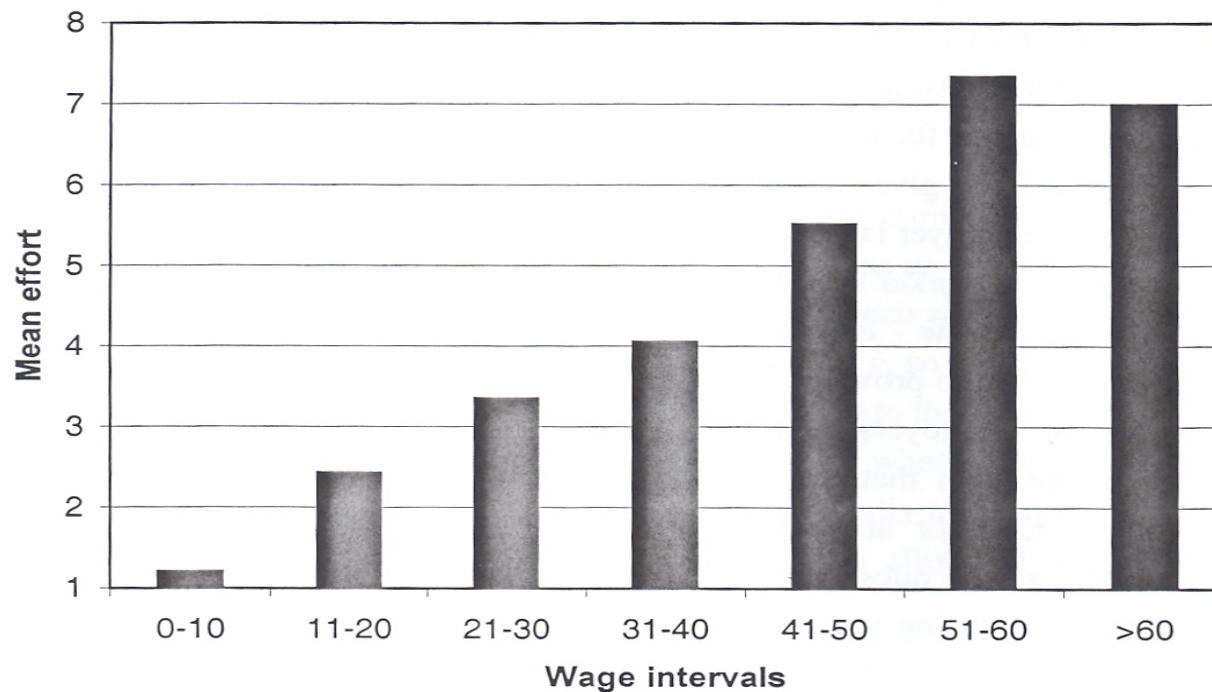


# O jogo da troca de presentes

O empregador oferece ao trabalhador um salário  $W$  para um esforço de, pelo menos,  $E$ . Se o trabalhador recusa os ganhos são  $(0,0)$

Se aceita são  $(kE - W, W - C(E))$   $1 < k < 10$

Equilíbrio de Nash  $E=1$  e  $W$  mínimo



# 3 – Aspectos evolutivos

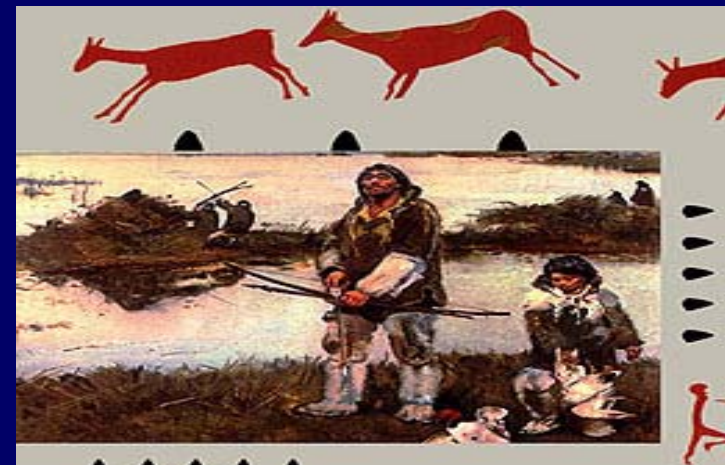
- ◆ Reciprocidade forte ou punição altruísta
- ◆ Homo reciprocans (Bowles e Gintis)
- ◆ *O Homo reciprocans em situações sociais novas tende a cooperar e partilhar. Responde a comportamentos cooperantes mantendo ou aumentando a sua cooperação. Porém, em face de comportamento egoísta ou oportunista, responde retaliando, mesmo se isso for contra os seus interesses e se não esperar quaisquer ganhos futuros por essa acção.*
- ◆ A reciprocidade forte é uma forma de altruísmo na medida em que beneficia os outros à custa de quem tem essa característica.
- ◆ Como é que tal comportamento "irracional" se poderá ter desenvolvido ?

## 3 – Aspectos evolutivos

- ◆ Um período suficientemente longo e socialmente estável para permitir uma programação genética – O pleistoceno tardio (~60000 anos)

# 3 – Aspectos evolutivos

- ◆ Um período suficientemente longo e socialmente estável para permitir uma programação genética – O pleistoceno tardio (~60000 anos)
- ◆ Caçadores-recoletores



# Emergência do Homo reciprocans

- ◆ População de tamanho  $N$  com agentes de dois tipos :
- ◆ Reciprocadores (**Agentes-R**)
- ◆ Oportunistas (**Agentes-S**)
- ◆ Actividade do tipo bens públicos: cada agente pode produzir no máximo  $q$  com um custo  $b$
- ◆ O benefício que um agente-S tira de evitar esforço é  $b(\sigma)$ .  $\sigma$  é a fracção de tempo não productivo.
- ◆  $b(0)=b$      $b(1)=0$      $b'(\sigma)<0$      $b''(\sigma)>0$   
 $q(1-\sigma)>b(\sigma)$
- ◆ Qualquer que seja o nível de esforço, trabalhar beneficia mais o grupo do que prejudica o trabalhador

# Emergência do Homo reciprocans

- ◆ Os agentes-R nunca evitam esforço e castigam os oportunistas com um custo  $c\sigma$ , custo que é partilhado por todos os agentes-R
- ◆  $f$  = fracção de agentes-R
- ◆ Para um agente-S o custo estimado de ser punido é  $s\sigma$ . Ele escolhe  $\sigma^*$  de modo a minimizar a função

$$B(\sigma) = b(\sigma) + s f \sigma - q(1 - \sigma)/N$$

# Emergência do Homo reciprocans

◆ Robustez de cada espécie :

$$\pi_S = \max[q(1 - (1 - f) \sigma^*) - b(\sigma^*) - \gamma f \sigma^* , 0]$$

$$\pi_R = \max[q(1 - (1 - f) \sigma^*) - b - c(1 - f) N \sigma^* / (Nf) , 0]$$



# Emergência do Homo reciprocans

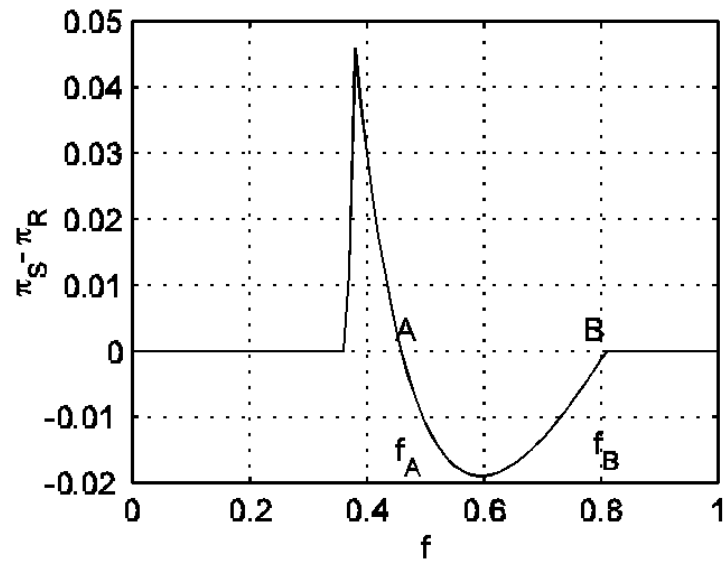
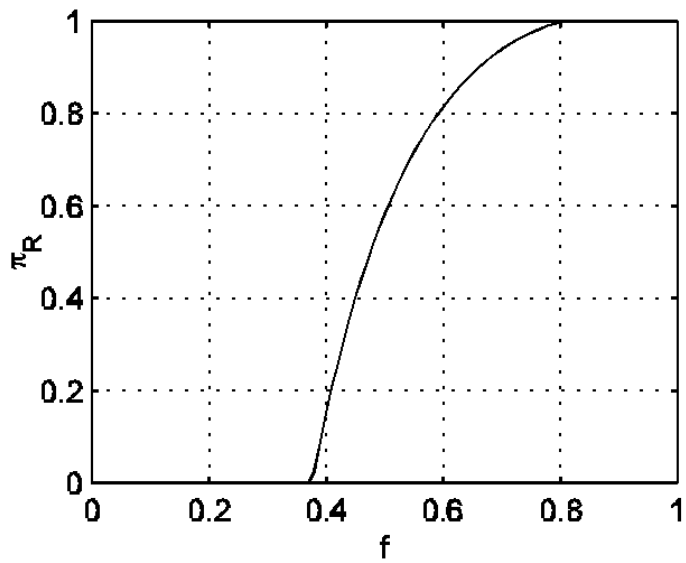
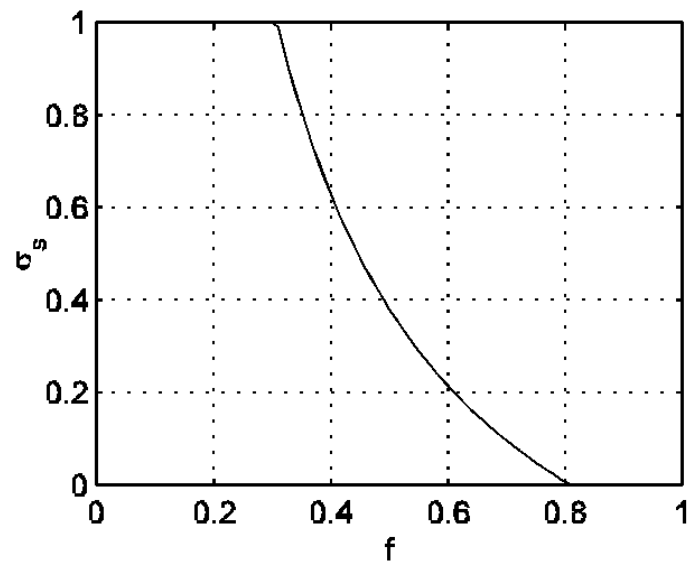
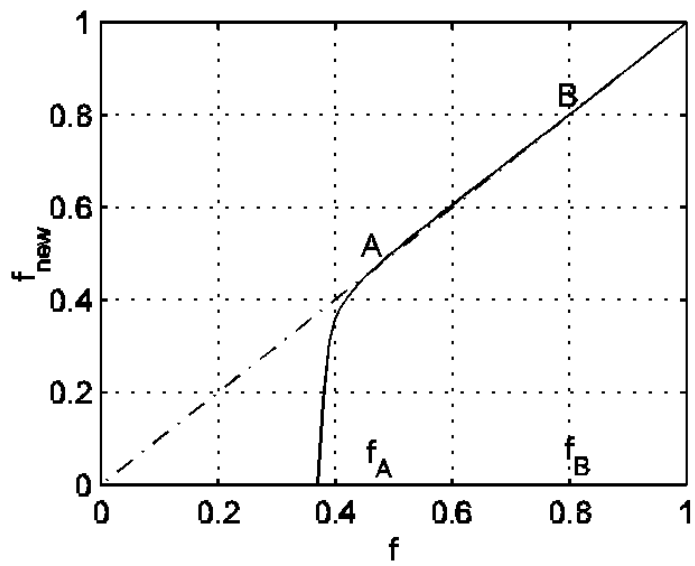
- ◆ Robustez de cada espécie :

$$\pi_S = \max[q(1 - (1 - f) \sigma^*) - b(\sigma^*) - \gamma f \sigma^* , 0]$$

$$\pi_R = \max[q(1 - (1 - f) \sigma^*) - b - c(1 - f) N \sigma^* / (Nf) , 0]$$

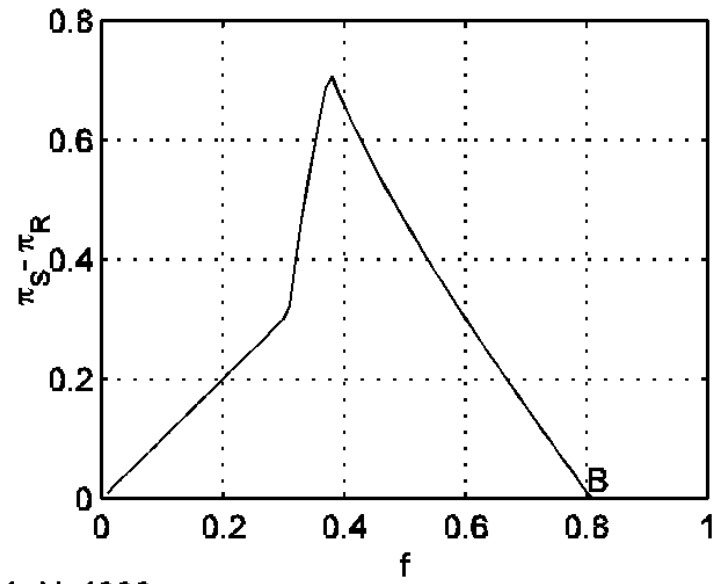
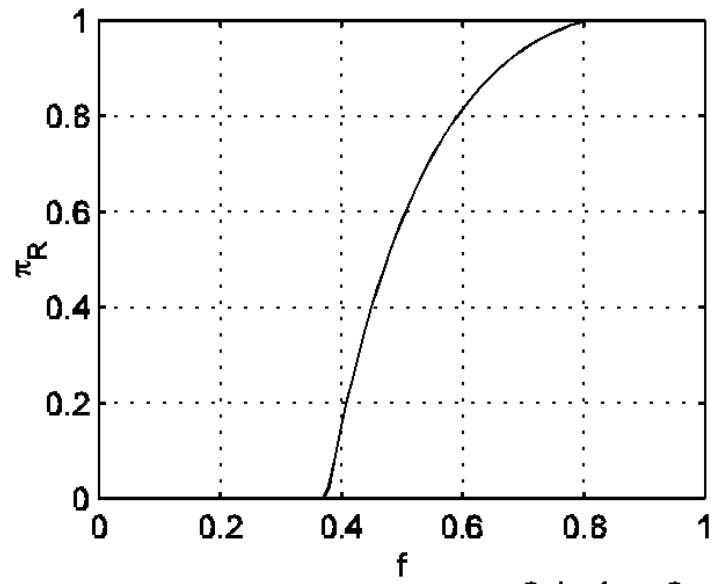
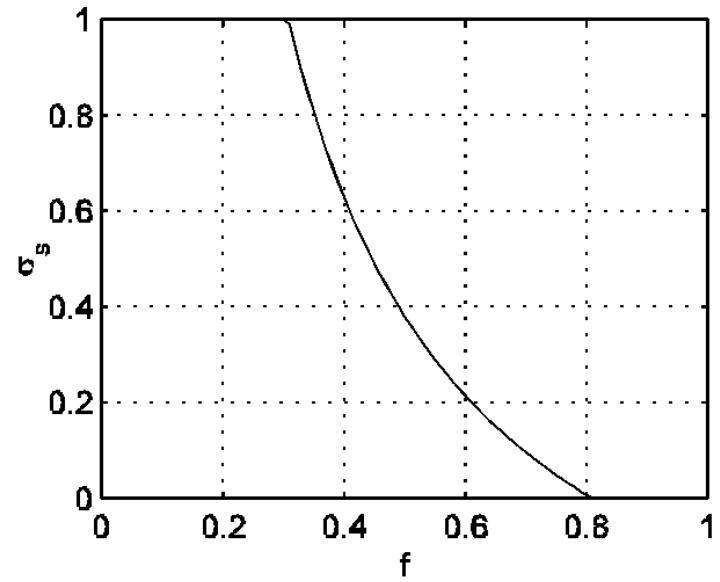
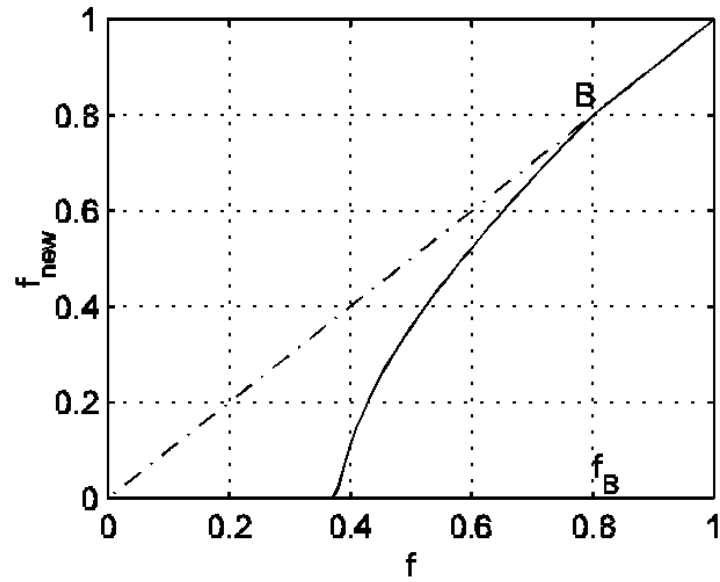
- ◆ Dinâmica reproductiva

$$f_{novo} = f \frac{\pi_R(f)}{(1 - f) \pi_S + f \pi_R(f)}$$



$q=2, b=1, s=2, c=0.1, \gamma=3.5, N=1000$

Fig.1



$q=2, b=1, s=2, c=0.1, \gamma=1, N=1000$

Fig.2

# Emergência do Homo reciprocans

- ◆ Se  $\gamma$  é suficientemente grande, a aplicação tem um ponto fixo instável (A) e um estável à esquerda (B)
- ◆ Entre B and  $f = 1$  existe um contínuo de pontos fixos marginalmente estáveis
- ◆ Para  $\gamma$  pequeno a região entre A e B desaparece e só ficam os pontos fixos marginalmente estáveis.

# Emergência do Homo reciprocans

- ◆ O comportamento assintótico corresponde a  $f = 0$  ( $\sigma^* = 1$ ) ou a  $f$  entre 0 e 1 mas com  $\sigma^* = 0$
- ◆ Quando  $f \neq 0$ , reciprocadores e oportunistas permanecem na população mas os oportunistas decidem não evitar esforço
- ◆ Para  $f$  inicial menor que  $f_A$  a fracção de reciprocadores cai rapidamente para zero

# Emergência do Homo reciprocans

## ◆ *Dinâmica intragrupo* :

Os reciprocadores ou são eliminados ou permanecem em equilíbrio com um grande número de oportunistas que não evitam esforço por medo de serem punidos

◆ A dinâmica intragrupo não pode explicar como é que a reciprocidade forte se tornou uma característica dominante (pelo menos numa fase inicial, antes de haver processos – normas sociais – que reduzam a selecção intragrupo)

# Emergência do Homo reciprocans

## ◆ *Dinâmica intergrupos* :

Só os grupos que à partida tenham  $f > f_A$  têm uma robustez final diferente de zero. Todos os outros sofrem a "tragédia dos comuns", tendo robustez final nula.

◆ Grupos com reciprocadores tendem a dominar e a impor uma predominância das suas características.

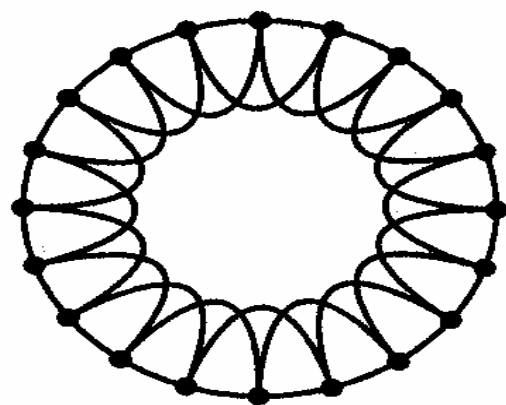


# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

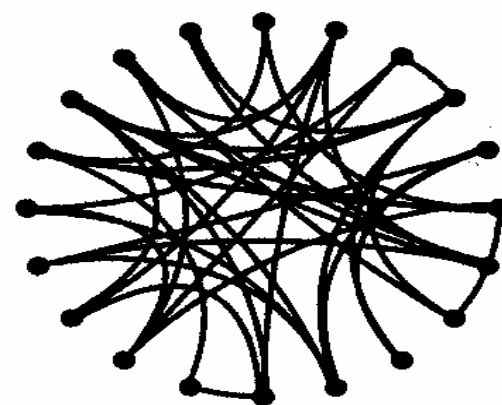
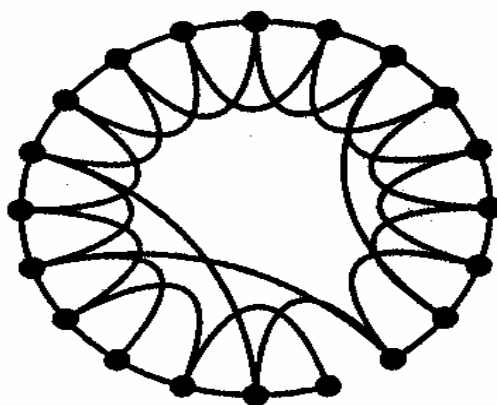
- O que é que acontece quando mais tarde os reciprocadores do pleistoceno e os seus colegas oportunistas começam a viver num contexto social mais extenso ?
- A supervisão e punição dos oportunistas pelos reciprocadores perde necessariamente a sua natureza global.
- Passa a ser apenas uma tarefa para os vizinhos próximos.
- Supervisão e (ou) punição dos oportunistas requer força para assegurar a eficiência da punição e para proteger o reciprocador da retaliação do oportunista.

# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

- Punição requer poder e consenso. Punição só se pelo menos dois vizinhos estão de acordo.
- **Agentes-R** and  $(1-f)$  **Agentes-S** numa rede onde, em média, cada agente se liga com  $k$  outros agentes, religados com probabilidade  $\beta$  a partir duma rede regular.
- Cada reciprocador quando detecta um oportunista procura outro reciprocador entre os seus vizinhos que também esteja ligado ao oportunista. Se o encontra a punição é proporcional à percentagem de esforço evitado.

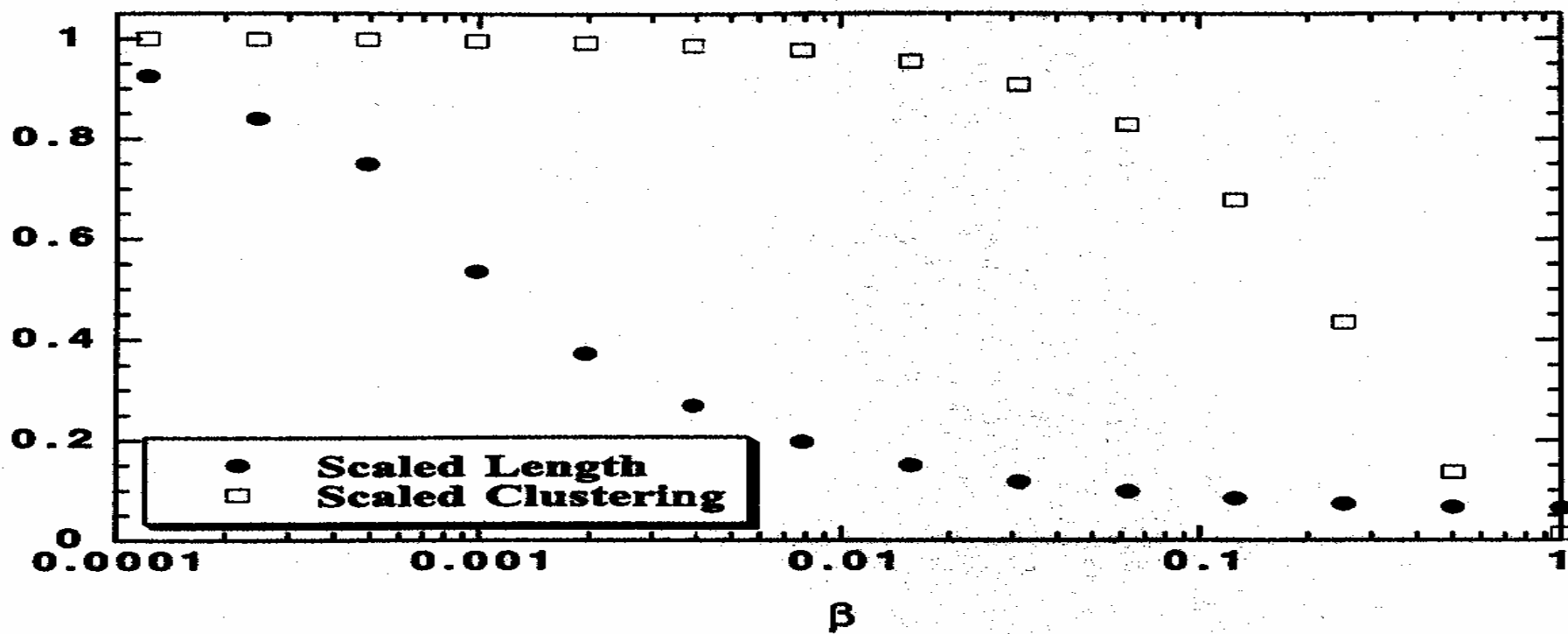


$\beta = 0$



$\beta = 1$

Increasing randomness



# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

- ◆ A quantidade de trabalho que um agente-S faz é inversamente proporcional ao número de reciprocadores na sua vizinhança.
- ◆ Porém a falta de comunicação entre os reciprocadores vizinhos do agente-S torna a probabilidade de punição bastante menor.

# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

- ◆  $W_k( )$  = vetor trabalho
- ◆  $P_u( )$  = vetor punição
- ◆  $C_{pu}( )$  = vetor custo da punição
- ◆  $f$  = fracção de reciprocadores
- ◆  $q$  = quantidade máxima de bens que podem ser produzidos por cada agente
- ◆  $b$  = custo do trabalho
- ◆  $c$  = custo da punição
- ◆  $\gamma$  = custo de ser punido

# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

- ◆ Robustez média dos agentes-R e dos agentes-S

$$\pi_R = \frac{q}{N} \sum_{all} Wk(i) - \frac{b}{fN} \sum_R Wk(i) - \frac{c}{fN} \sum_R Cpu(i)$$

$$\pi_S = \frac{q}{N} \sum_{all} Wk(i) - \frac{1}{(1-f)N} \left( b \sum_S Wk(i) + \gamma \sum_S Pu(i) \right)$$

# Reciprocidade forte numa sociedade mais vasta

- ◆ Dinâmica reproductiva

- ◆ Region 1

$$f \rightarrow 0 \text{ and } \pi = f\pi_R + (1-f)\pi_S \rightarrow 0$$

- ◆ Region 2

$$f \text{ and } \pi \neq 0$$

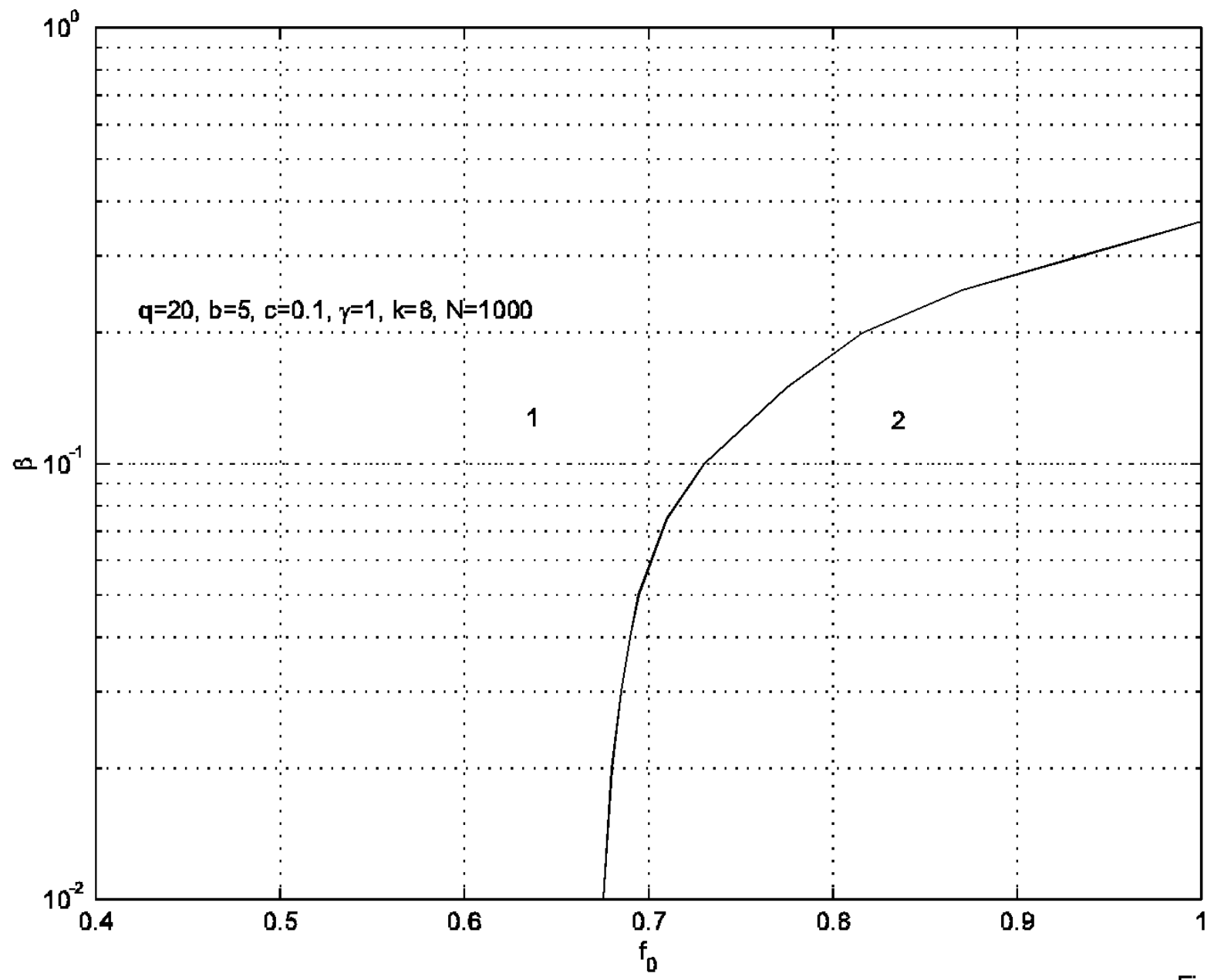
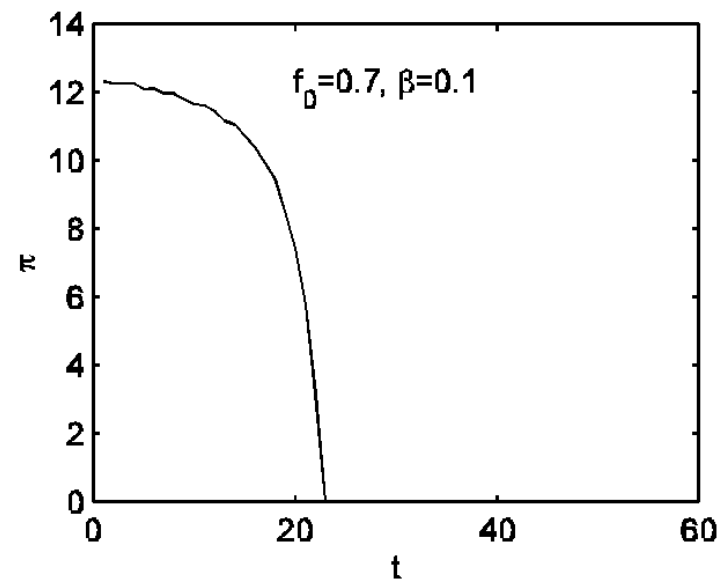
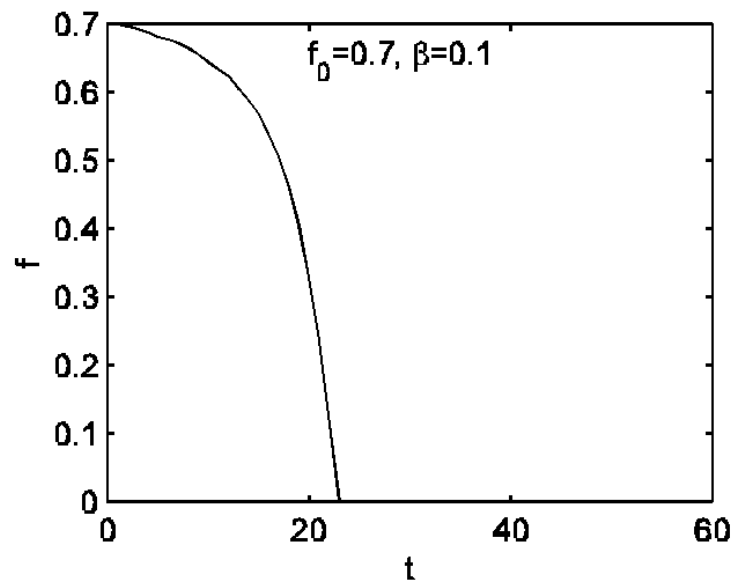
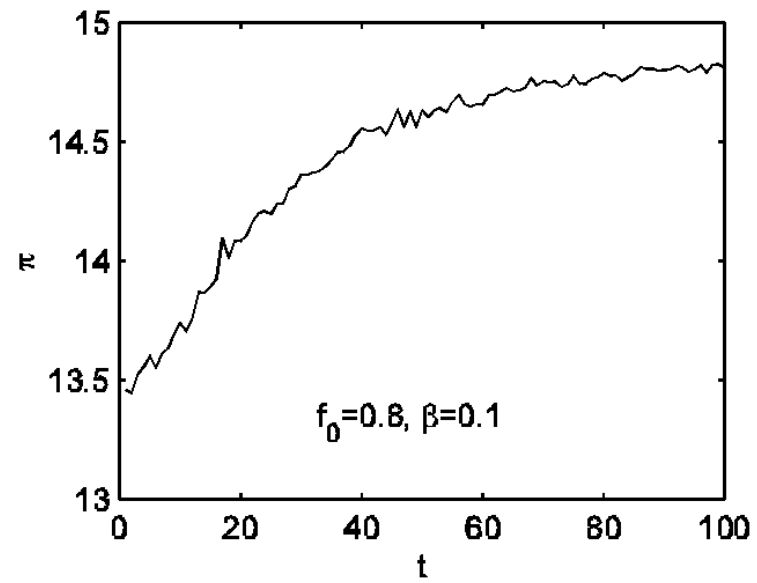
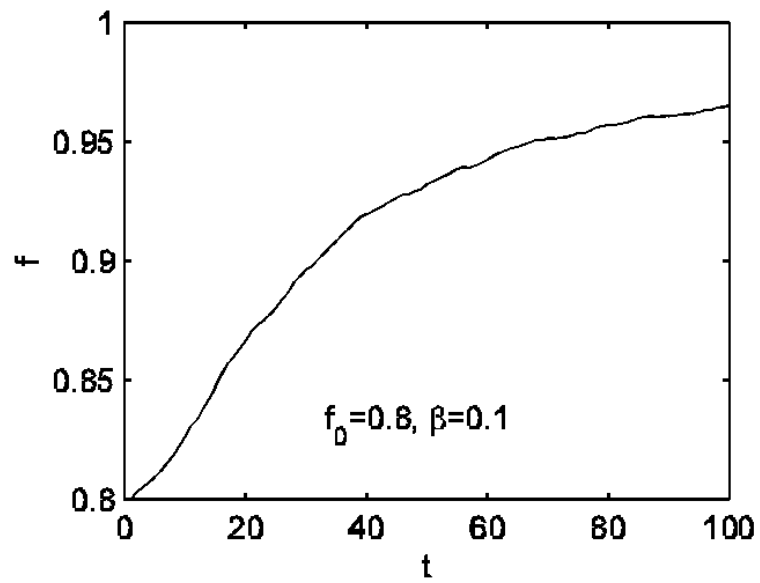


Fig.3





(a)



(b)

Fig.4

# Conclusões

- 1 – Pequenos grupos com controle colectivo: A dinâmica intergrupos torna provável a emergência da reciprocidade forte (RF) (~punição altruísta).
- 2 – A população de agentes-S não é invadida. Podem causar instabilidade se as condições sociais mudarem.
- 3 – Num grupo populacional grande o controle colectivo de comportamentos prejudiciais ao bem público não é viável.

# Conclusões

- 4 – A existência dum predominância da característica RF torna a população receptiva ao estabelecimento de órgãos especializados para o controle dos bens públicos → Governo → Hierarquias
- 5 – Esta é de facto a situação que se observa a partir da revolução agrícola do neolítico

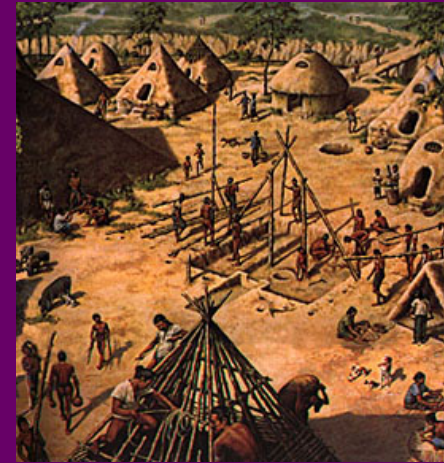
- Agricultura



- Agricultura



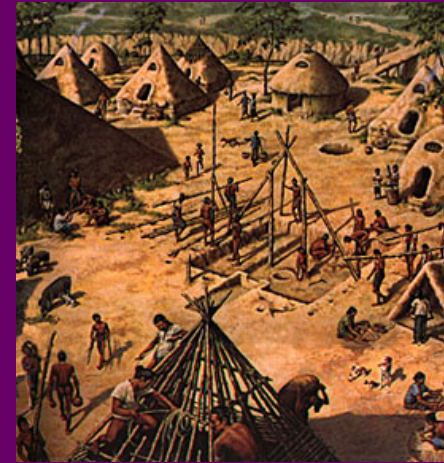
- Sedentarismo



- Agricultura



- Sedentarismo



- Governo e hierarquias

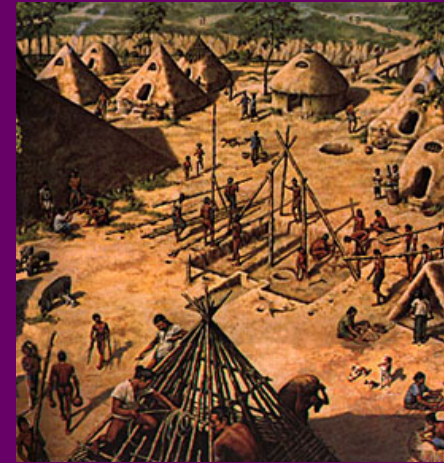




- Agricultura



- Sedentarismo



- Governo e hierarquias

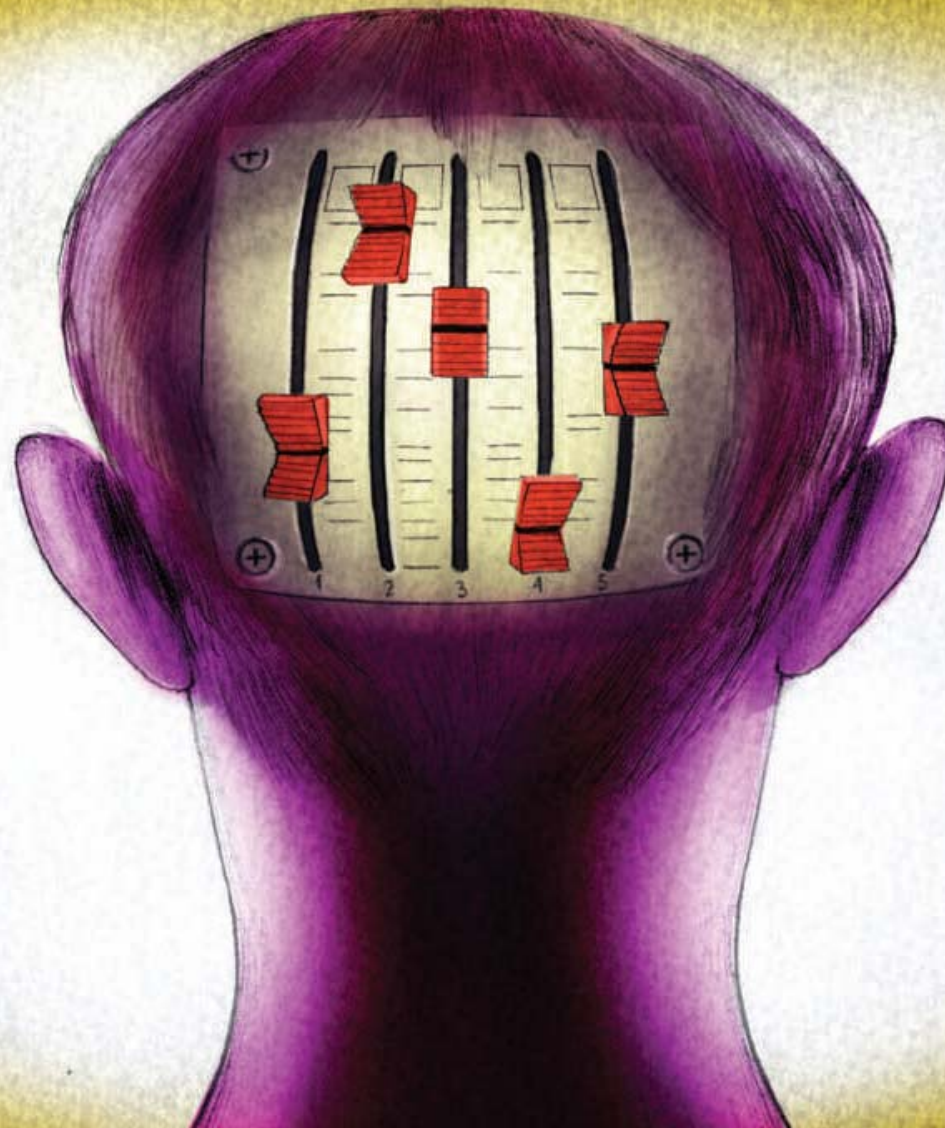


- ◆ Governo e hierarquias como consequência da fixação dum comportamento de desvio em relação ao equilíbrio de Nash



# Software e hardware

# Software e hardware



## 4 – Os fundamentos neurológicos

Um jogo de duas pessoas é um confronto de dois cérebros



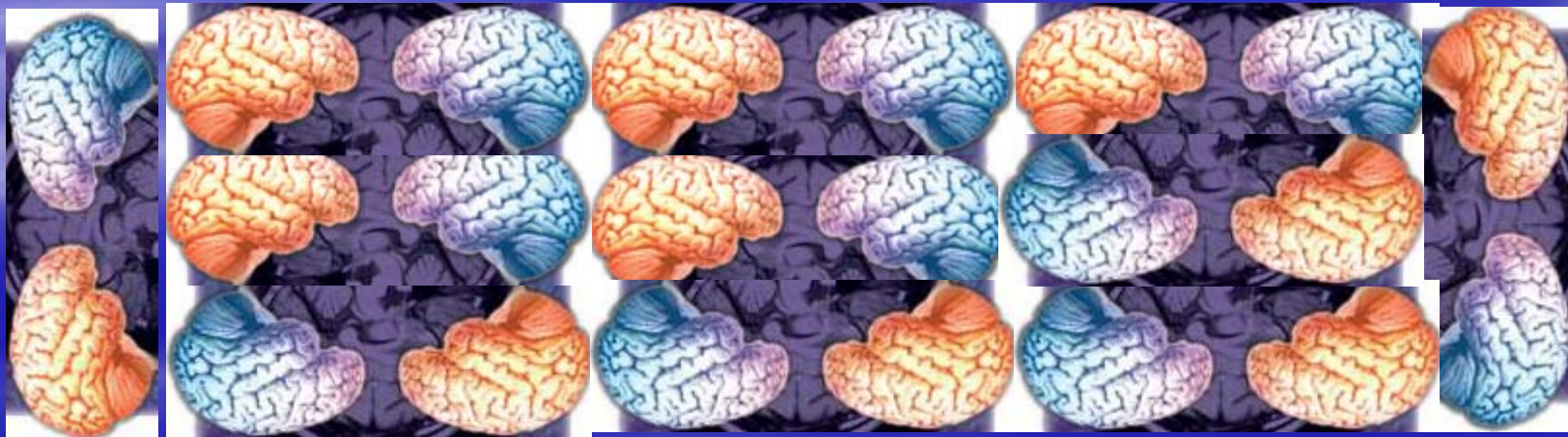


# 3 – Os fundamentos neurológicos

Um jogo de duas pessoas é um confronto de dois cérebros

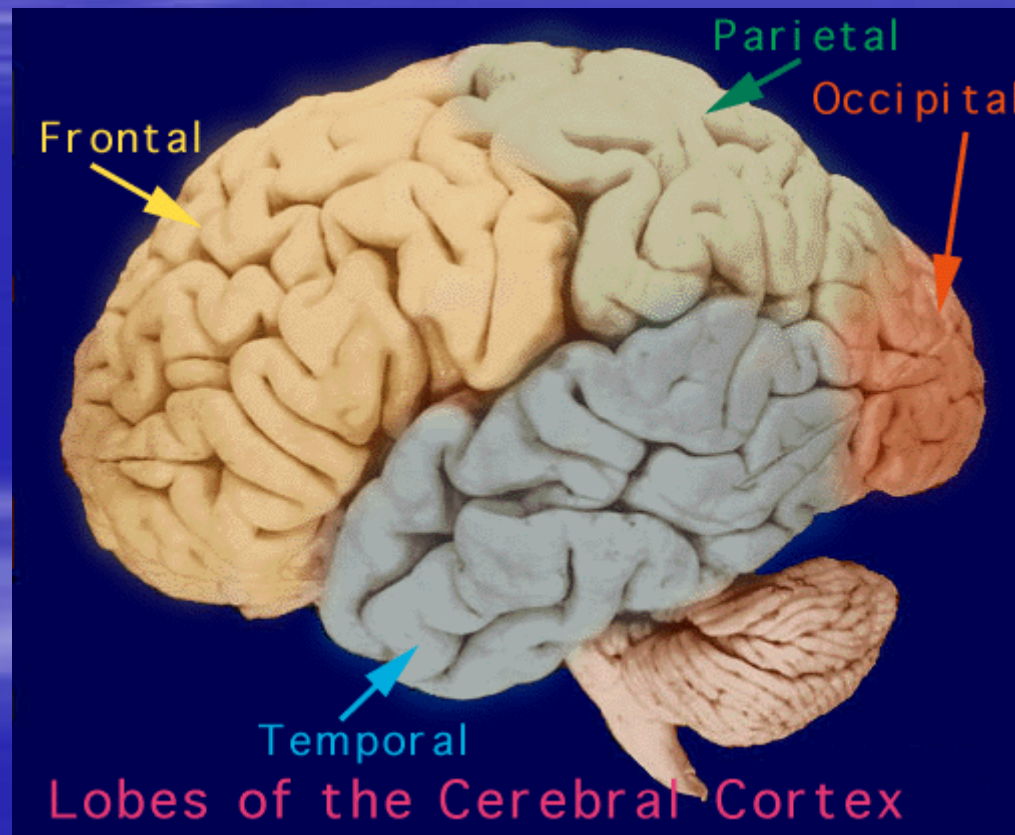


e uma sociedade ou uma economia é uma multidão de cérebros



# Os fundamentos neurológicos

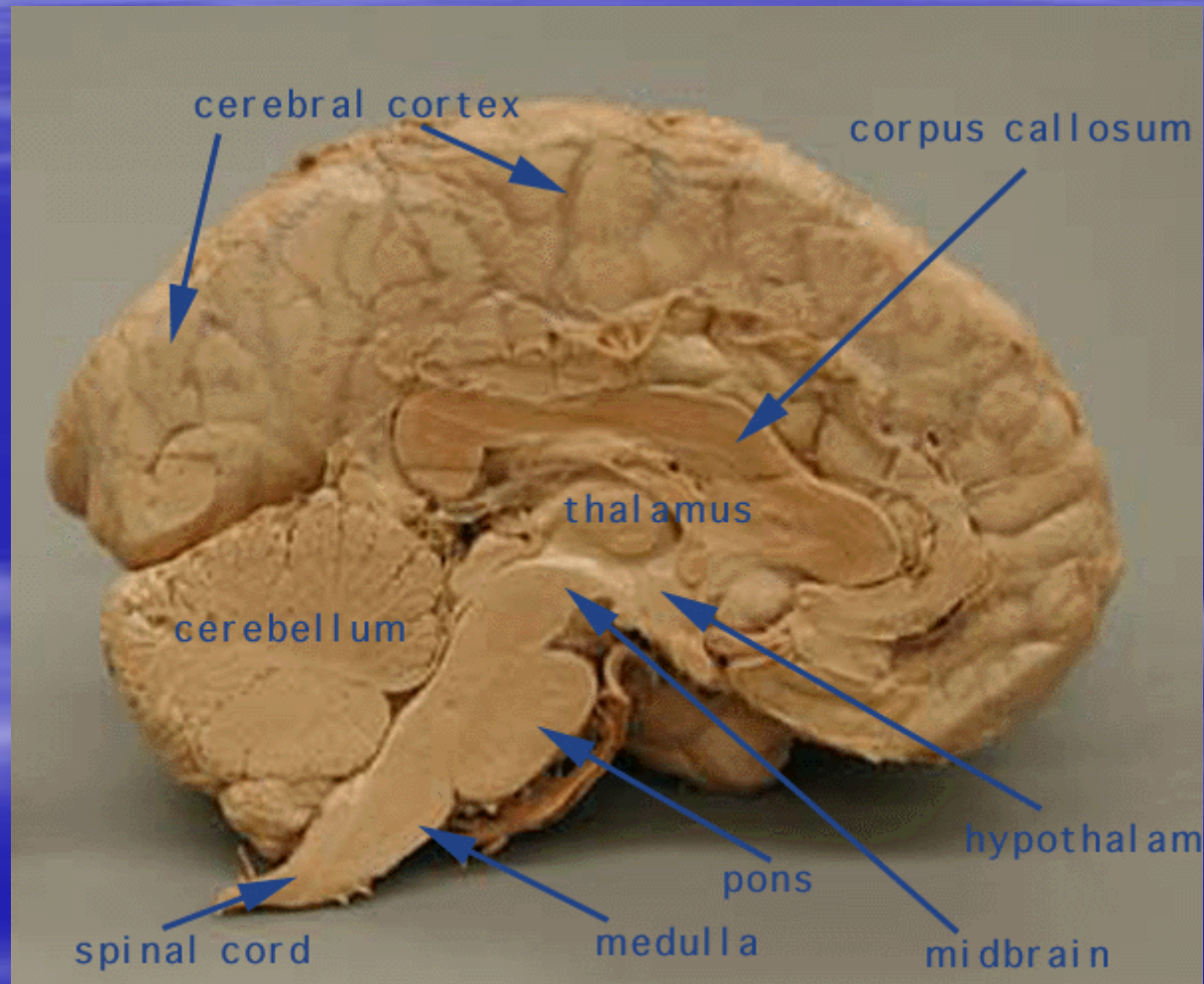
e um cérebro não é só um cortex





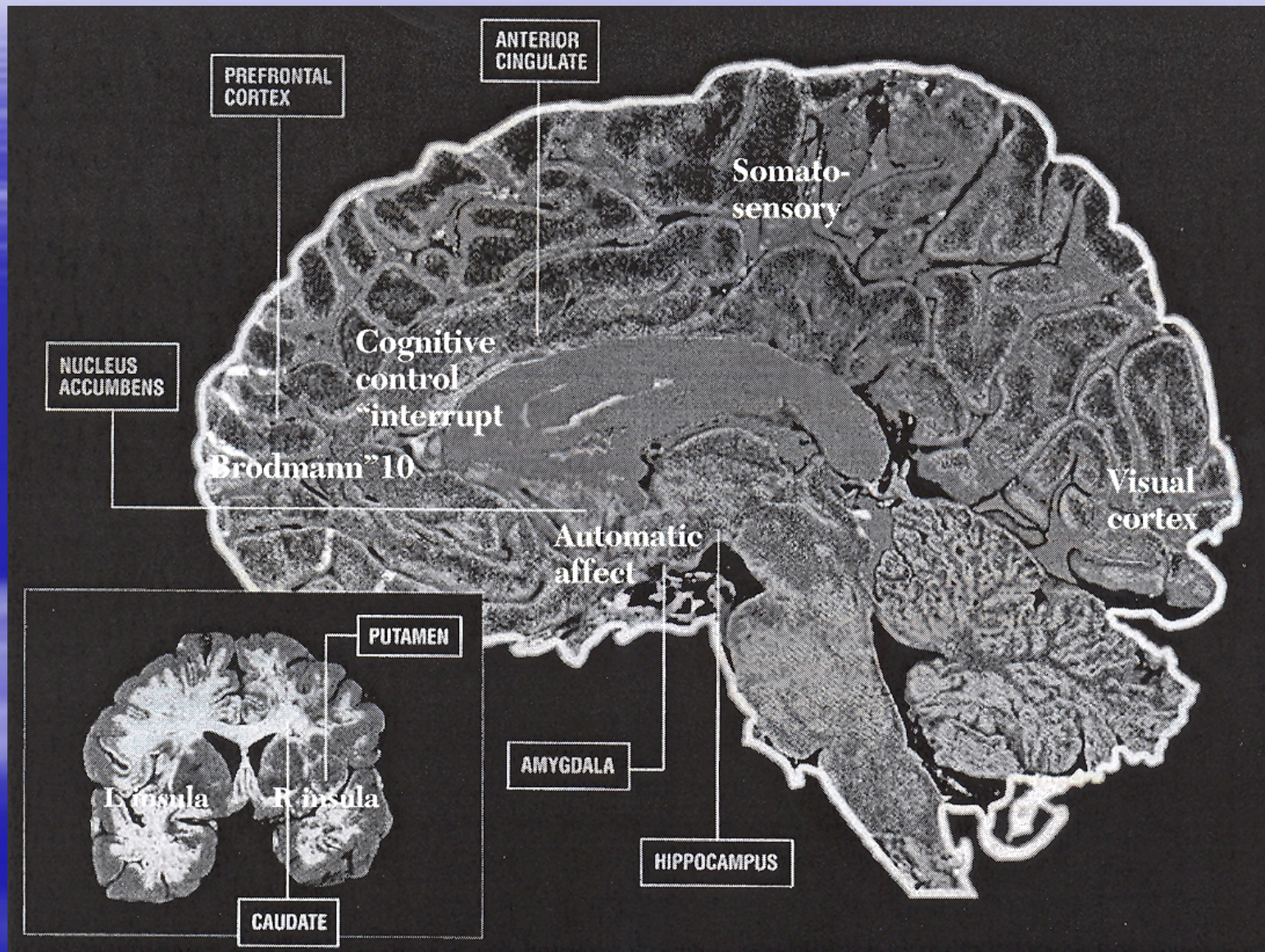
# Os fundamentos neurológicos

tem muitas outras partes especializadas, com diferentes idades evolutivas





# Os fundamentos neurológicos





# Os fundamentos neurológicos

- Muitas actividades cerebrais são processos rápidos e automáticos que ocorrem sem que delas haja consciência (isto é, sem intervenção do cortex deliberativo ou do módulo de linguagem)
- Exemplo (Whalen et al. J. Neuroscience 8 (1998) 411): Apresentações, durante 40 ms, de faces felizes ou zangadas activam a amygdala, sem que o indivíduo esteja consciente do que viu.
- Acções conscientes são precedidas por uma reacção muito anterior do sistema límbico, que modula a deliberação consciente.
- Atenção também à “irracionalidade” dos módulos racionais:
  - Experiências com música e impulsos de luz. Tendência para mentalizar uma sincronização que não existe.
  - A razão à-posteriori : Modificação de crenças anteriores. Acontecimentos passados parecem previsíveis. Atribuição errónea de intenções a outras pessoas.



# Técnicas para "ver" o cérebro em acção

- EEG

Actividade eléctrica fora do cérebro. Boa resolução temporal (~1ms), má resolução espacial e não regista a actividade no interior do cérebro

- PET

Mede o fluxo sanguíneo no cérebro. Melhor resolução espacial do que EEG, mas pior resolução temporal. Limitada a observações curtas, porque a radioactividade decai.

- fMRI

Mede as mudanças na oxigenação do sangue. Sinal fraco mas melhor resolução espacial do que PET (~3mm)

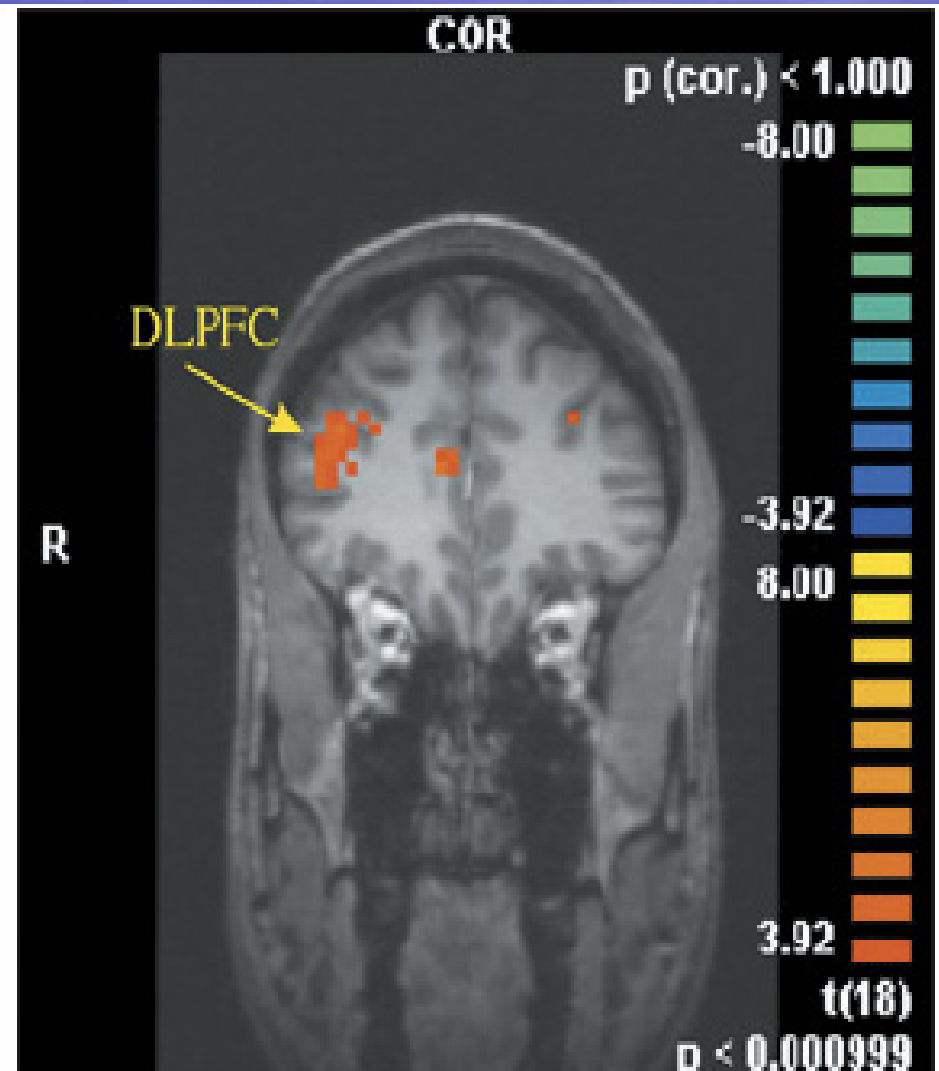
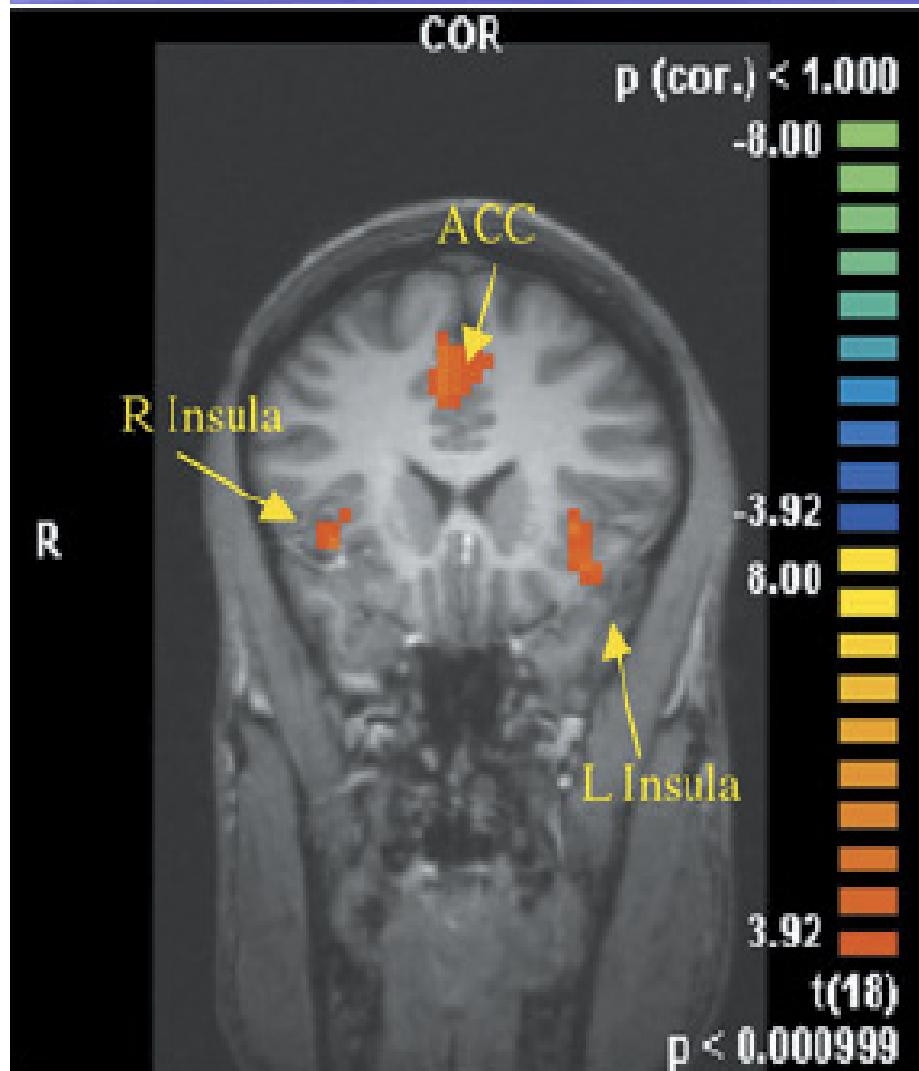
- Medidas locais (~ neurónios individuais)

- Psicopatologia

- Casos de dano cerebral

# Ofertas egoístas no jogo do ultimato

(Sanfey et al., Science 300 (2003) 1755)



# Ofertas egoístas no jogo do ultimato

fMRI – Ofertas egoístas activam o cortex prefrontal (PFC), o cingulado anterior (ACC) e a insula

Interpretação:

- O ACC (área com funções executivas) tenta resolver o conflito entre o desejo de ganhar alguma coisa (PFC) e a aversão a ser tratado injustamente (Insula)
- A insula é activada pela dor, desgosto, etc.

# A base neuronal da reciprocidade forte

*Reciprocidade forte = punição altruísta*

Punição de comportamento egoísta ou injusto (violação de normas sociais) mesmo com custo para si próprio

- *O jogo da confiança com punição*

(de Quervain et al. Science 305 (2004)1254)

Os jogadores A e B recebem 10 unidades monetárias (UM)

O jogador A pode transferir para B zero ou dez unidades

A quantia transferida é multiplicada por 4

O jogador B decide transferir para A metade ou nada

- No caso de não haver transferência de volta, o jogador A tem um minuto para decidir se vai punir ou não (a punição  $p$  pode ir até 20 unidades)

- A punição custa  $p$  a A e  $2 \times p$  a B

- O jogador A é analisado por PET durante o minuto de decisão

# A base neuronal da reciprocidade forte

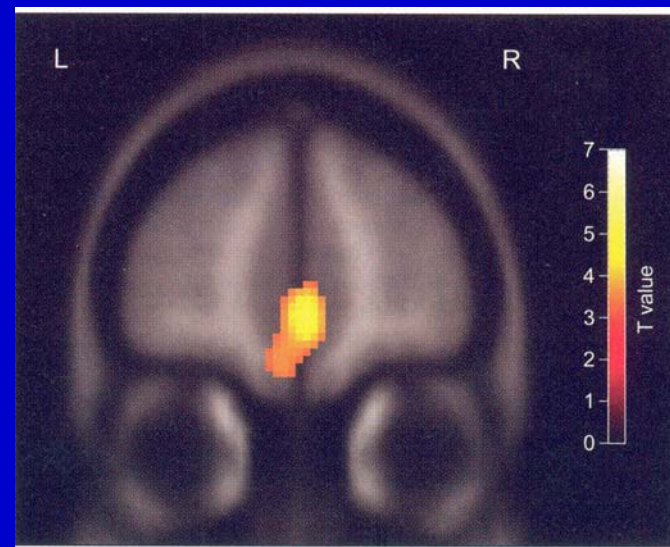
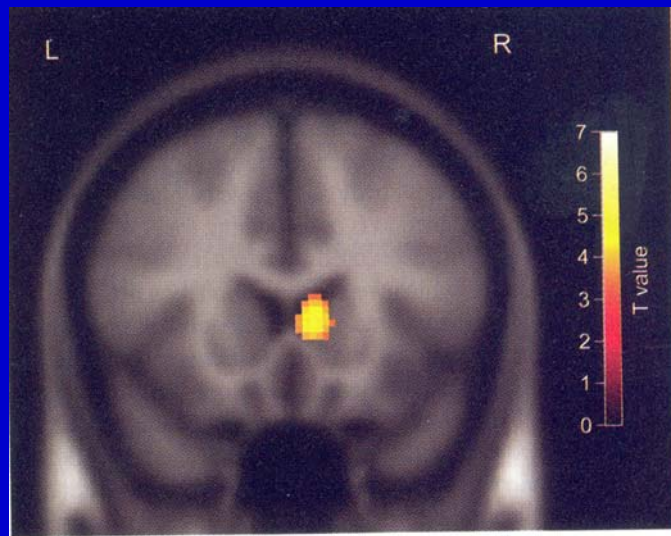
- *Vários protocolos*

IF – Intencional e livre

IC – Intencional e com custo

IS – Intencional and simbólica

NC – Não-intencional e com custo



# A base neuronal da reciprocidade forte

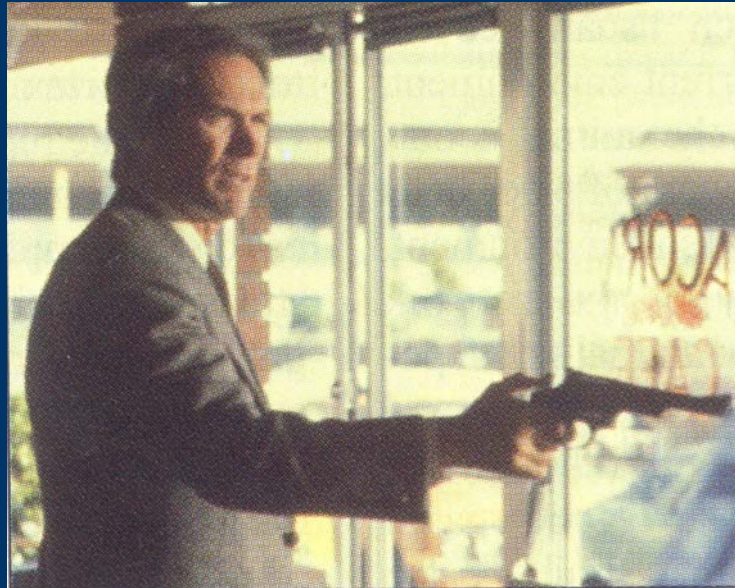
## *Interpretação :*

- Activação do núcleo caudato (região associada ao processamento de recompensas, antecipação de prazer) em casos de punição
- Activação do cortex prefrontal quando a punição tem custo (ponderação dos benefícios e custos da punição)
- A mesma região do núcleo caudato é activada quando se recompensam os cooperadores.  
(Rilling et al. Neuron 35 (2002) 395)
- Portanto a punição dos oportunistas é altruísta biológica e socialmente, mas não o é realmente do ponto de vista psicológico
- Conclusão : uma situação socialmente satisfatória é agradável, mas a vingança também o é.



# A base neuronal da reciprocidade forte

*Um exemplo de punição altruísta (Brian Knutson) :*



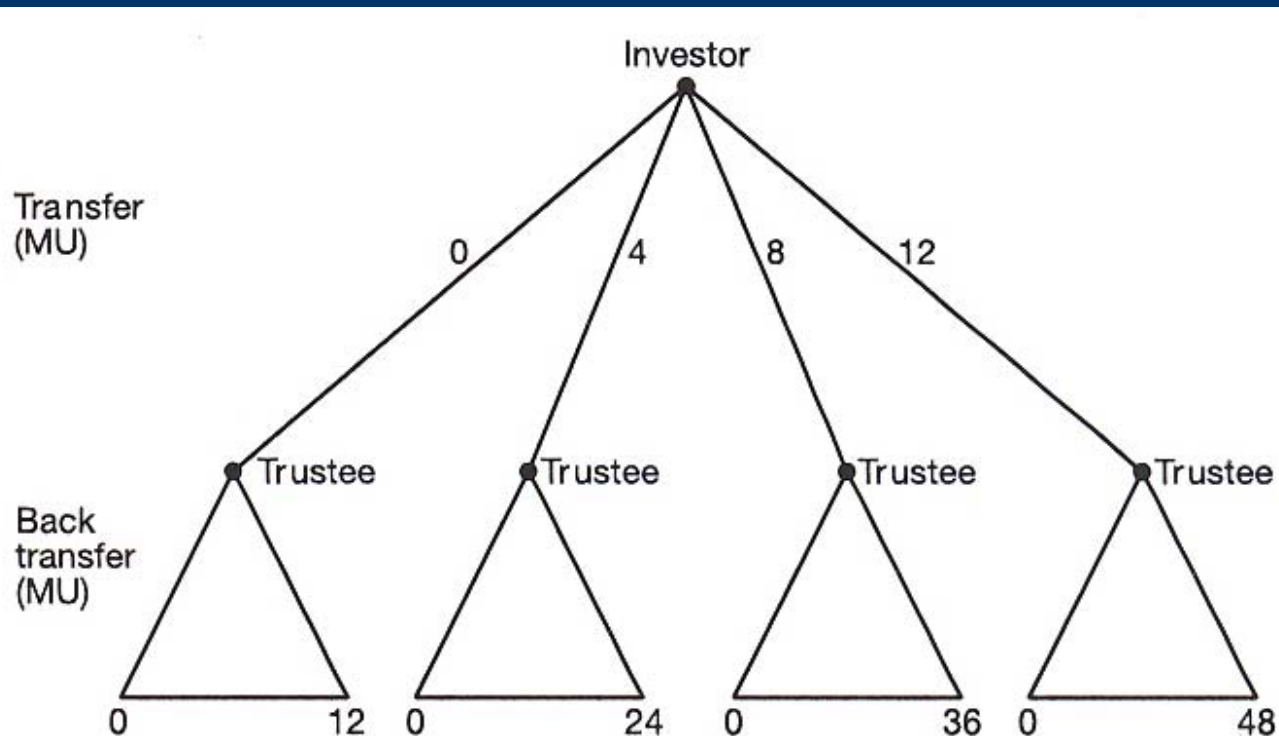
*Go ahead, make my day !*

“Dirty” Harry informa um prevaricador de que a oportunidade de o castigar lhe dará prazer

# A oxytocina aumenta a confiança

(Kosfeld et al. Nature 435 (2005) 673)

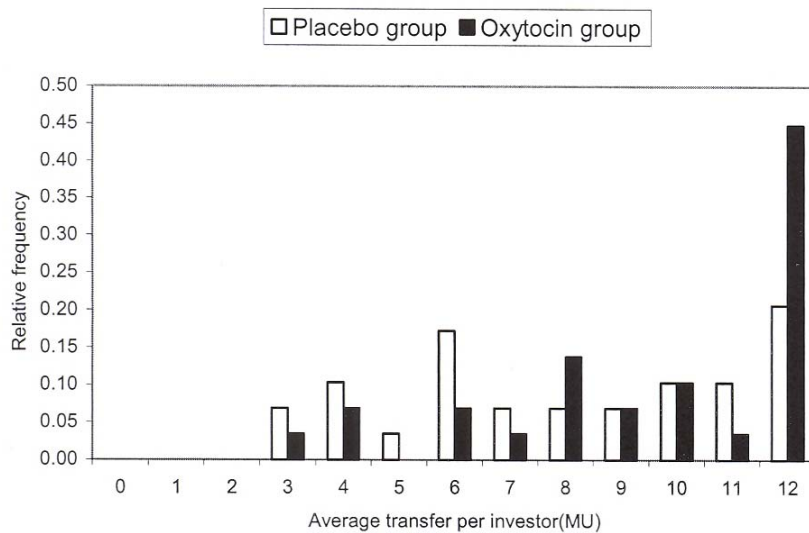
- Oxytocina – uma pequena peptina naturalmente produzida no hipotálamo
- Actua em certas funções (parto e lactação) e em certas regiões do cérebro (amygdala, núcleo acumbens). Facilita comportamentos de aproximação
- O jogo da confiança



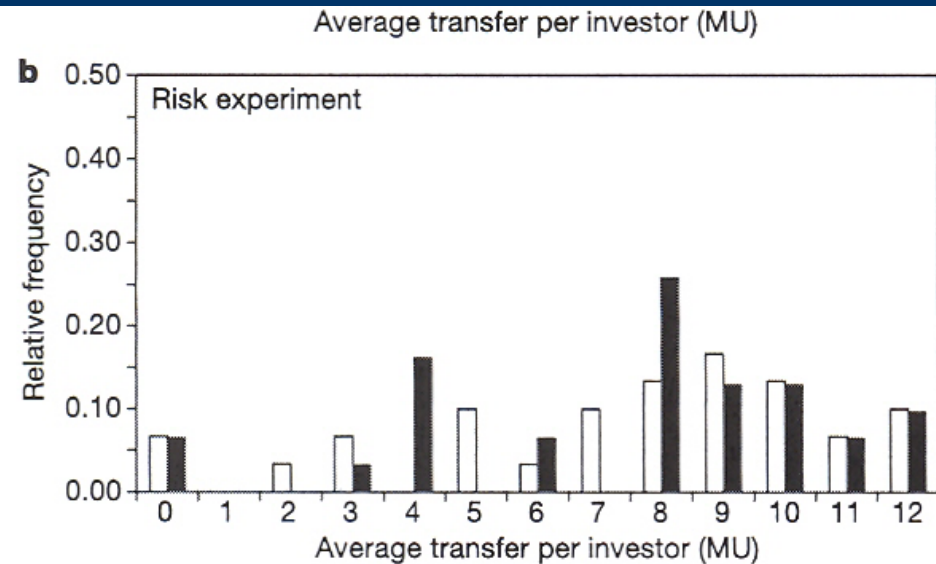


# A oxytocina aumenta a confiança

- Os jogadores recebem um dose intranasal de oxytocina ou dum placebo
- O jogo é jogado ou com um humano (confiança) ou com um computador (risco)

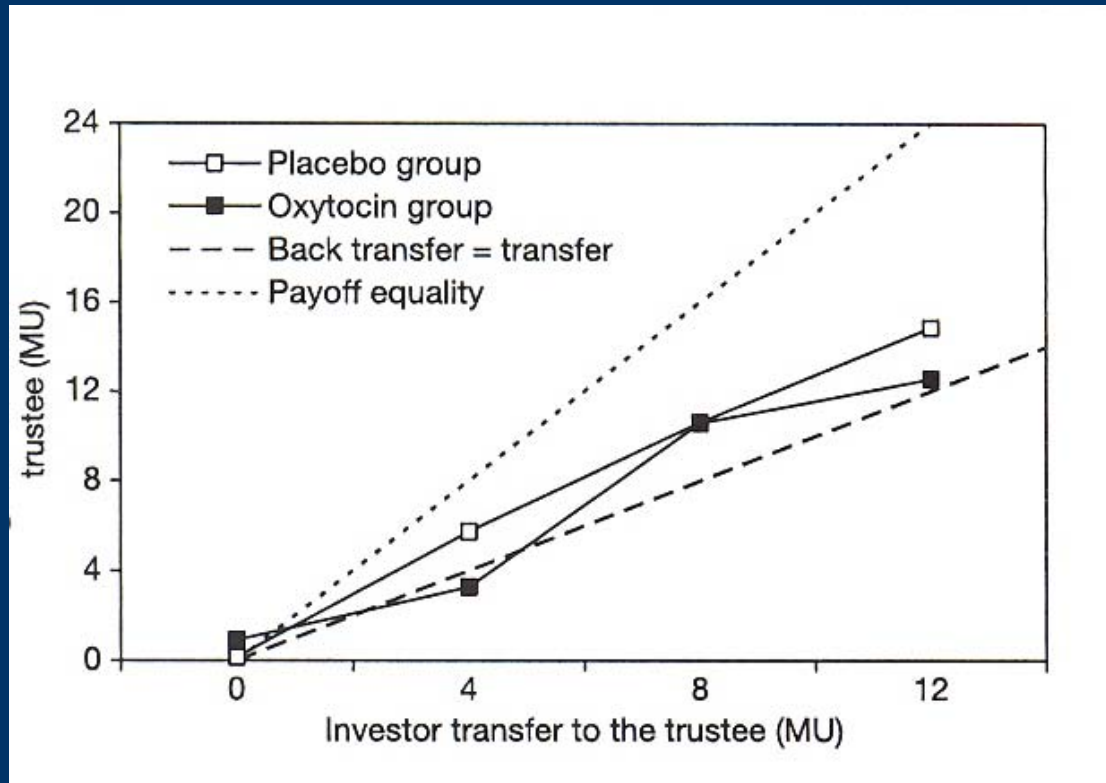


Confiança



Risco

# A oxytocina aumenta a confiança



- Tem um efeito forte nos investidores (no jogo da confiança) mas não nos “banqueiros”
- A reciprocidade não é afectada pela oxytocina

# Outras experiências

- Decisões normais ou com danos do cortex prefrontal (Bechara et al. Science 275 (1997) 1293)
- Actividade cerebral durante tarefas com incentivo monetário (Knutson et al. NeuroImage 12 (2000) 20)
- Respostas neuronais a ganhos e perdas monetárias (Breiter et al., Neuron 30 (2001) 619)
- Ganhos e perdas no OFC (O' Doherty et al., Nature Neuroscience 4 (2001) 95)
- Activação de neurónios espelho (Keysers Neuron 31 (2001) 155)
- A base neuronal da cooperação social (Rilling et al., Neuron 35 (2002) 395)
- Ganhos e perdas na actividade do cortex (Dickhaut et al. PNAS 100 (2003) 3536)
- Exclusão social (Eisenberger et al. Science 302 (2003) 290)
- Cognição social e pensamento auto-referencial (Mitchell et al., J. Cognitive Neuroscience 17 (2005) 1306)
- Incerteza nas decisões (Hsu et al., Science 310 (2005) 1680)
- Reacção do cortex cingulato a trocas económicas (Tomlin et al., Science 312 (2006) 1047)
- Os efeitos da ketamina (Corlett et al., Arch. Gen. Psychiatry 63 (2006) 611)
- Codificação neuronal da recompensa (Dreher et al., Cerebral Cortex 16 (2006) 561)
- Os neurónios codificam o valor económico (Padoa-Schioppa et al., Nature 441 (2006) 223)
- etc. etc.

# Algumas referências

- ◆ ***Darwinismo e cultura humana***  
P. J. Richerson e R. Boyd; *Built for speed, not for comfort*, Hist. Phil. Life Sci. 23 (2001) 425-465
- ◆ ***O jogo do ultimato através do mundo***  
J. Heinrich, R. Boyd, S. Bowles, C. Camerer, E. Fehr, H. Gintis e R. McElreath; *Cooperation, reciprocity and punishment in fifteen small-scale societies*, American Economics Review 91 (2001) 73-78
- ◆ ***Aspectos evolutivos da reciprocidade forte***  
S. Bowles e H. Gintis; *The evolution of strong reciprocity* Theor. Pop. Bio. 65 (2004) 17-28.  
R V M; *Network dependence of strong reciprocity* Advances in Complex Systems 7 (2004) 357-368
- ◆ ***Modelização de jogos e desvios do equilíbrio de Nash***  
E. Fehr e K. M. Schmidt; *A theory of fairness, competition and cooperation*, Quarterly J. of Economics 114 (1999) 817-868  
A. Falk e U. Fischbacher; *A theory of reciprocity*, Games and Econ. Behavior 54 (2006) 293-315  
R V M; *The quantum ultimatum game*, Quantum Information Proc. 4 (2005) 1-12